Mémoire de recherche forestière n° 103

Maturation et indices de maturité des semences d'épinette blanche

par S. MERCIER

Québec

92-02097/

Stéphan MERCIER est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1986. En 1991, ce même établissement lui décernait le titre de maître ès sciences. Il est à l'emploi du Service de l'amélioration des arbres depuis avril 1988 à titre de chargé de recherches sur les semences et pollens d'arbres forestiers.

Depuis de nombreuses années, chacun des Mémoires et des autres rapports publiés par la Recherche forestière est révisé par un comité *ad hoc* d'au moins trois membres recrutés aussi bien à l'intérieur du Ministère que dans le milieu universitaire, la fonction publique fédérale ou les autres milieux de la recherche. Les responsables de la Recherche remercient les scientifiques qui ont accepté bénévolement de revoir le texte présenté ici et de participer ainsi à la diffusion des résultats des recherches menées au ministère des Forêts du Québec.

Les publications de la Recherche forestière sont produites et diffusées à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation de chaque projet ou expérience. En conséquence, ces documents sont, par définition, à *tirage limité* et à *diffusion restreinte*. Adresser toute demande au:

Service du transfert de technologie
Ministère des Forêts du Québec
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec)
Canada G1P 3W8

Maturation et indices de maturité des semences d'épinette blanche

« En vrai, mettre le pied sur la Lune est un événement extraordinaire,
mais mon Dieu qu'il reste encore du terrain à piétiner ! »

(Quino)

Maturation et indices de maturité des semences d'épinette blanche

par

Stéphan MERCIER, ing.f., M.Sc.

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE
N° 103

Gouvernement du Québec
Ministère des Forêts
Direction de la recherche
1991

Ce texte est un rapport partiel du projet de recherche n° 032080 (anc. 832080, R82208).

ISBN 2-550-22600-3
ISSN 1183-3912
Dépôt légal - Quatrième trimestre 1991
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
© Gouvernement du Québec 1991

Avant-propos

Ce document couvre les différents aspects qui se rapportent à la maturation des semences d'épinette blanche et à la détermination de la période de récolte de ses cônes. Les résultats obtenus ne s'appliquent pas à la post-maturation qui est une étape subséquente.

Les mots suivis d'un astérisque (*) sont définis dans un glossaire qui est présenté à la fin du document.

Remerciements

Mes sincères remerciements vont à monsieur Carol Parent, technicien forestier, et à madame Linda Veilleux, technicienne en chimie, qui ont collaboré aux travaux de terrain et de laboratoire. Mes remerciements s'adressent également à tous les membres de l'équipe du Laboratoire de morpho-physiologie du ministère des Forêts, qui ont donné le temps et l'attention nécessaire à la réalisation de cette recherche.

Je profite de l'occasion pour remercier les responsables régionaux de la récolte des cônes du ministère des Forêts, qui ont collaboré à la cueillette des échantillonset des données sur le terrain. Je remercie également M. Paul Nadeau, d'Agriculture Canada, qui a mis à notre disposition un scintillateur pour les dosages de l'acide abscissique.

Je signale l'excellence des travaux réalisés par monsieur Jean-Marc Briand, technicien en arts graphiques. Mes remerciements vont également à madame Michelle Collin, agente de secrétariat, qui a dactylographié la version finale de ce mémoire, et à monsieur Fabien Caron, agent d'information, qui en a révisé le manuscrit et réalisé l'édition.

Résumé

Des cônes d'épinette blanche ont été récoltés chaque semaine au cours des étés 1988 et 1989 afin de localiser les phases de maturation des semences et de trouver des indicateurs morphologiques, physiologiques et écologiques de maturité pouvant permettre de mieux identifier la période de récolte. Les semences matures se reconnaissent grâce à des indicateurs morphologiques comme la longueur de l'embryon, la flottaison, la teneur en eau et la densité des cônes; toutefois, ces indicateurs ne sont pas suffisamment précis pour estimer à l'avance la date de récolte. En associant le développement de la semence à l'accumulation de la température et à la progression phénologique de l'inflorescence de l'épilobe, plante compagne qui intègre les mêmes facteurs climatiques et édaphiques que les cônes d'épinette blanche, il a été possible de prédire la date de maturité quelques semaines à l'avance. La récolte des cônes réalisée plus d'une semaine avant la maturité diminue le taux de germination à la récolte et la viabilité des semences durant la conservation. Les cônes doivent également être récoltés avant l'entrée en dormance qui apparaît juste après la maturité. Physiologiquement, quatre phases de maturation ont été identifiées à partir de la progression saisonnière des glucides, des polyols, des acides organiques, de la respiration et de l'activité métabolique.

Mots-clés : épinette blanche, *Picea glauca* (Moench.) Voss, semences, cônes, récolte, maturité, maturation, morphologie, physiologie, épilobe à feuilles étroites, *Epilobium angustifolium* L., écologie, conditions du milieu.

Abstract

White spruce cones were collected weekly to find indicators of seed maturity and to follow their maturation stages during the summers of 1988 and 1989. Floating, cone moisture content, cone gravity, and embryo length measurement were used to determine seed maturity but these indicators cannot predict with accuracy cone collection time. However, maturity date can be forecasted some weeks in advance by monitoring seed development in relation with heat-sums and the phenological progression of the inflorescence of fireweed, an associated plant species which integrates the same climatic and edaphic factors as white spruce cones. On the other hand, cone collection earlier than one week before seed maturity would decrease seed germination and viability during storage. Cones would have to be collected before the onset of dormancy which appears just after seed maturity. Physiologically, four stages of maturation were determined by monitoring carbohydrates, polyols, organic acids, respiration and metabolic activity.

Key-words : white spruce, Picea glauca *(Moench.) Voss, seed maturity, seed maturation, cone collecting, morphology, physiology, fireweed,* Epilobium angustifolium *L., ecology, environmental conditions.*

Gouvernement du Québec
Ministère des Forêts
Direction de la Recherche

Service du transfert de technologie

MERCIER, S., T. MORISSETTE et D. BLANCHETTE, 1991. *Évaluation des cônes de pin gris en vue de la récolte de semences de qualité.* Gouv. du Québec, min. des Forêts, Dir. de la rech. Mémoire de recherche forestière n° 101.

Errata

Couverture			Lire :	T. Morissette
Page	Colonne	Ligne		
30	1	35	Lire :	*NSEM* = 65,030209 + 295,598 *PDS*
37	2	17	Lire :	– Il existe des relations linéaires entre le poids des semences, le nombre de semences et le volume des cônes. Ces relations peuvent s'exprimer mathématiquement par :

$$PDS = 1{,}18 + 569{,}78\ VOLS$$

$$NSEM = 182{,}999 + 168\,427{,}48\ VOLS$$

$$NSEM = 65{,}030209 + 295{,}598\ PDS$$

$$VOLHUM = 0{,}5813\ VOLSEC$$

où *PDS* = Poids des semences (g)
NSEM = Nombre de semences
VOLHUM = Volume humide des cônes (ml)
VOLSEC = Volume sec des cônes (cc)
VOLS = Volume sec des cônes (hl).

Table des matières

Avant-propos v

Remerciements v

Résumé vii

Abstract vii

Liste des tableaux xiii

Liste des figures xv

Introduction 1

Chapitre premier

Facteurs influençant la vitesse de développement des semences et modélisation de la maturation 3

1. Matériel et méthodes 5

1.1 Récolte et préparation des semences 5

1.2 Tests de germination 5

1.3 Accumulation de la température 5

1.4 Phénophases de l'épilobe 8

1.5 Traitement des donnés 8

2. Résultats 8

2.1 Taux de germination 8

2.2 Accumulation de la température 8

2.3 Progression des semences selon le positionnement sur l'arbre 8

2.4 Phénophases de l'épilobe 13

3. Discussion 13

3.1 Facteurs influençant la maturation 13

3.2 Modèle de prédiction de la maturité 15

Chapitre II

Périodes de maturation et de récolte des semences 17

1. Matériel et méthodes 17

1.1 Récolte et préparation des semences 17

1.2 Tests de germination 18

1.3 Indicateurs de maturité 18

1.4 Traitement des données 19

2. Résultats 19

2.1 Taux de germination et maturité 19

2.2 Indicateurs de maturité 19

3. Discussion 21

3.1 Maturité et taux de germination 21

3.2 Dissémination des semences immatures 21

3.3 Quantité de semences demeurant dans les cônes ouverts 21

3.4 Récolte et conservation des semences matures et immatures 26

3.5 Indicateurs de maturité 26

3.5.1 Teneur en eau dans les cônes 26

3.5.2 Densité spécifique des cônes 26

3.5.3 Flottaison des cônes 26

3.5.4 Longueur de l'embryon 27

Chapitre III

Physiologie de la maturation 29

1. Matériel et méthodes 29

1.1 Récolte et préparation des semences 29

1.2 Tests de germination 30

1.3 Analyse des composés physiologiques 30

1.4 Traitement des données 30

2. Résultats 30

2.1 Période de maturité 30

2.2 Respiration et activité métabolique 30

2.3 Glucides, polyols et acides organiques 31

2.4 Acide abscissique libre et total 37

2.5 Dynamique des composés 37

3. Discussion 38

3.1 Identification de la période de maturité 38

3.2 Activités respiratoire et métabolique 38

3.3 Charge énergétique 38

3.4 Substrat respiratoire 39

3.5 Acide abscissique 39

3.6 Phases de maturation 40

Conclusion 41

Synthèse et recommandations 43

1. Prédiction de la date de maturité 43

2. Indicateurs de maturité 43

3. Date de récolte 44

4. Extraction des semences 45

5. Suivi de la maturation 46

Glossaire des termes utilisés dans l'ouvrage 47

Liste des ouvrages cités 51

Annexe

Méthode d'utilisation des indicateurs de maturité des semences d'épinette blanche 57

1. Détermination de la longueur de l'embryon 59

2. Détermination de la teneur en eau des cônes 60

3. Réalisation du test de flottaison 61

4. Détermination de la densité spécifique des cônes 62

Liste des tableaux

Tableau 1 Caractéristiques et positionnement géographique des provenances et des stations météorologiques 4

Tableau 2 Dates moyennes de maturité des semences d'épinette blanche avec les degrés-jours, les unités thermiques et les pénophases de l'épilobe correspondants pour chacune des provenances 8

Tableau 3 Coefficients de corrélation de Spearman entre le taux de germination, le développement de l'épilobe, les degrés-jours et les unités thermiques 9

Tableau 4 Références sur le nombre de degrés-jours et le nombre de jours après la pollinisation pour atteindre la maturité des semences d'épinette blanche 9

Tableau 5 Coefficients de corrélation de Spearman entre le taux de germination, la flottaison, la teneur en eau, la longueur de l'embryon et la densité spécifique 21

Tableau 6 Nomenclature, temps de rétention et quantité moyenne sous la courbe des glucides solubles, des polyols, des acides organiques et des inconnus dosés dans une semence mature d'épinette blanche 32

Liste des figures

Figure 1	Subdivision de la hampe florale de l'*Epilobium angustifolium* et classification des phénophases	6
Figure 2	Progression du taux de germination de semences d'épinette blanche en fonction des degrés-jours	7
Figure 3	Progression du taux de germination des semences d'épinette blanche en fonction des unités thermiques	7
Figure 4	Relation entre les degrés-jours et les unités thermiques pour chaque provenance	9
Figure 5	Progression de la maturité des semences d'épinette blanche selon le positionnement du cône sur l'arbre	11
Figure 6	Progression de la maturité des semences d'épinette blanche selon leur positionnement dans le cône	11
Figure 7	Progression de la hampe florale de l'épilobe en fonction des degrés-jours	12
Figure 8	Progression de la hampe florale de l'épilobe en fonction des unités thermiques	12

Figure 9 Développement de l'inflorescence de l'*Epilobium angustifolium* en fonction du temps et description de chacune des phénophases 14

Figure 10 Taux de germination des semences d'épinette blanche à 8 semaines et à 15 mois de conservation pour chacune des provenances 20

Figure 11 Régression linéaire représentant la relation entre le poids pour 1 000 semences et leur taux de germination 22

Figure 12 Poids moyen de 1 000 semences pour chacune des provenances 22

Figure 13 Coupe longitudinale d'une semence d'épinette blanche de la provenance de Pont-Rouge après 15 mois de conservation 23

Figure 14 Progression de la teneur en eau dans les cônes d'épinette blanche en fonction de leur date de récolte 24

Figure 15 Régression linéaire représentant la relation existant entre la teneur en eau des cônes et leur densité spécifique 24

Figure 16 Progression du taux de flottaison des cônes d'épinette blanche dans du méthanol dilué (d = 0,93 g/L) en fonction de la date de récolte 25

Figure 17 Progression de la longueur de l'embryon d'épinette blanche en fonction de la date de récolte des cônes 25

Figure 18 Taux de germination des semences d'épinette blanche de la provenance de Pont-Rouge en fonction de la date de récolte des cônes 31

Figure 19 Progression de l'activité respiratoire et de l'activité de l'adénylate kinase au cours de la maturation des semences d'épinette blanche 33

Figure 20 Progression de la charge énergétique des semences d'épinette blanche au cours de leur maturation 33

Figure 21 Progression des glucides dans les semences d'épinette blanche au cours de la maturation 34

Figure 22 Progression des acides shikimique et quinique et des polyols dans les semences d'épinette blanche au cours de la maturation 35

Figure 23 Progression de composés inconnus d'origine glucidique dans les semences d'épinette blanche au cours de la maturation 36

Figure 24 Progression de l'acide abscissique libre et total des semences d'épinette blanche au cours de la maturation 37

Figure 25 Détermination de la longueur de l'embryon 59

Introduction

Le programme de régénération artificielle du ministère des Forêts prévoit mettre en terre chaque année une quarantaine de millions de plants d'épinette blanche [*Picea glauca* (Moench.) Voss]. Pour rencontrer cet objectif de production, il s'avère nécessaire de récolter en moyenne entre 700 et 1800 hectolitres de cônes par année. Or, les cueilleurs de cônes rencontrent certaines difficultés pratiques dont la plus importante est la détermination de la période de récolte, qui se situe généralement entre le stade où la semence* est apte à être cueillie et l'ouverture des cônes.

Chez l'épinette blanche, la période de récolte est d'environ deux semaines (STIELL 1981; SMITH 1983) et il s'avère que ce délai est souvent trop court pour permettre une récolte massive des cônes. Pour contourner cet obstacle, WINSTON et HADDON (1981) préconisent de récolter les cônes beaucoup plus tôt à condition de réaliser une post-maturation* adéquate d'au moins neuf semaines. Toutefois, l'expérience indique que cette solution est très discutable puisque les cônes s'ouvrent difficilement à l'usine (SMITH 1983) et que les semences recueillies à l'état immature se conservent mal (MULLER 1984; YOUNG et YOUNG 1986).

La situation géographique de la provenance et l'année de production ont un effet sur la période de récolte (OWENS et MOLDER 1979; ZASADA 1988). Au Québec, MORISSETTE (1990) signale que la période de récolte oscille entre le début d'août et la mi-septembre. Pour localiser la période de récolte des cônes d'épinette blanche, les cueilleurs utilisaient jusqu'à maintenant certains critères subjectifs comme la couleur et la flexibilité des cônes (ANONYME 1986). Ces indicateurs s'étant avérés peu efficaces (BEAUCHESNE 1985), il devenait donc important de mieux connaître les phases de maturation* de ces semences pour les définir et identifier les indicateurs qui pourraient être plus pratiques à utiliser sur le terrain pour déterminer la période adéquate de récolte. Pour rencontrer les objectifs de notre démarche, nous avons considéré trois champs de recherche sur dix provenances réparties dans tout le Québec durant les étés de 1988 et de 1989.

Le chapitre premier traite des conditions environnementales qui affectent la maturation des semences, des sources de variations intra et extra-populations et, surtout, de la relation entre la phénologie* de l'épilobe et la progression des semences d'épinette blanche. En effet, le problème du choix d'un indicateur réside dans sa possibilité de prédire à l'avance la période de récolte. Peu d'indicateurs mis au point jusqu'à ce jour et décrits dans la littérature possèdent cette possibilité. Nous savons que la vitesse de maturation des semences est grandement influencée par l'accumulation de la chaleur au cours de la saison estivale (OWENS et MOLDER 1979). Toutefois, dans les faits il est probable que la température ne soit pas la seule responsable de la vitesse de maturation et que d'autres paramètres environnementaux puissent avoir leur importance. De plus, la distance qui sépare les stations météorologiques des lieux de récolte fait que les renseignements climatiques qu'on y recueille demeurent approximatifs. Une relation phénologique pourrait exister entre les plantes compagnes de l'épinette blanche et la maturation de ses semences puisque plusieurs études ont fait ressortir des relations similaires en agronomie (BLAIR 1978; DUBÉ et CHEVRETTE 1978a; CASTONGUAY et DUBÉ 1985). Il devenait pertinent de vérifier la correspondance phénologique entre le développement de la semence et celui de l'inflorescence d'une plante compagne commune au Québec, car cette correspondance fournirait un outil précieux pour planifier les récoltes.

Le chapitre II rassemble les expérimentations réalisées pour déterminer la période la plus propice à la récolte de semences d'épinette blanche et pour identifier les indicateurs liés à cette période. Dans un premier temps, il a fallu déterminer la différence qui pourrait exister entre la date de maturité* et la période optimale de récolte. En effet, est-il pratique de cueillir des semences avant qu'elles n'atteignent leur maturité et de maintenir leur viabilité durant la période de conservation ? Dans le même ordre d'idées, plusieurs interrogations ont été soulevées au sujet des semences qui demeurent dans les cônes après leur ouverture et leur dormance* potentielle.

Enfin, le dernier chapitre caractérise les quatre phases physiologiques de la maturation à partir de certains composés biochimiques et de l'activité métabolique au cours de la maturation. Celle-ci est certainement le stade de développement embryonnaire* qui a été le moins bien couvert par les chercheurs. Il n'en demeure pas moins que cette phase de développement est parmi les plus importantes de la formation de la semence. Aucune des fonctions métaboliques liées à la capacité germinative n'est encore connue et l'on attribue ce fait en grande partie à l'ignorance des aspects fondamentaux du métabolisme* de la maturation (QUATRANO 1987; RAYMOND 1988). En conséquence, ce chapitre explique les mécanismes d'action ou les impacts qu'ont ces composés physiologiques durant la maturation et cherche à faire ressortir certains composés comme indicateurs physiologiques pour prédire la date de maturité.

Chapitre premier

Facteurs influençant la vitesse de développement des semences et modélisation de la maturation

Le succès d'une récolte de cônes d'épinette blanche [*Picea glauca* (Moench.) Voss.] dépend principalement de la facilité à prévoir à l'avance la date de maturité des semences afin de planifier adéquatement les opérations de cueillette à grande échelle. Le délai nécessaire à la récolte de cônes, c'est-à-dire la période comprise entre la maturité des semences et leur dissémination* dans la nature, n'est guère supérieur à deux semaines et varie selon la localisation géographique du site et l'année de production (ZASADA 1973). Plusieurs indicateurs de maturité des semences d'épinette blanche ont été mis au point jusqu'à présent (STIELL 1981; MORISSETTE et GRENIER 1987), mais ils permettent difficilement de prédire à l'avance le moment optimal pour la récolte des cônes.

En région tempérée, le développement des cônes est fortement affecté par l'accumulation de la chaleur au cours de la saison de croissance (OWENS et MOLDER 1979). Plus précisément, il existerait un lien entre les degrés-jours* et la maturation des semences (CRAM et WORDEN 1957; WALDRON 1965; ZASADA 1973; WINSTON et HADDON 1981; SMITH 1983; MORISSETTE et GRENIER 1987). Certains auteurs pensent que l'utilisation des unités thermiques donnerait de meilleurs résultats (CAPRIO 1974). Cependant, une variation subsiste par rapport à l'accumulation de la température. D'une part, les stations météorologiques ne se trouvent pas nécessairement à proximité de chacun des sites de récolte et, par ailleurs, l'accumulation de la chaleur n'explique sans doute pas à elle seule la vitesse de maturation des semences (EDWARDS 1979).

L'un des objectifs de la phénologie est d'utiliser la date d'un événement phénologique (phénophase*) sur une plante indicatrice pour prédire ou estimer la date d'un événement subséquent sur la même plante ou sur un autre organisme (BLAIR et HERTEL 1973; GILROY et HOPP 1978). Ces plantes indicatrices peuvent être considérées comme des instruments météorologiques distincts et sensibles qui intègrent l'effet des diverses conditions climatiques (DUBÉ et CHEVRETTE 1978a; CASTONGUAY et DUBÉ 1985; DUBÉ *et al.* 1989) et édaphiques* du milieu (BARNARD *et al.* 1978; BLAIR 1978). Déjà plusieurs plantes indicatrices ont été identifiées comme le lilas 'rouge rothomagensis' (HOPP 1976; JACKSON et BITTMAN 1978), le chèvrefeuille 'rouge Arnold' (JACKSON et BITTMAN 1978) et plusieurs autres (PACK 1978; STRAUB et HUTH 1978; WHITE 1979).

L'association d'une phénophase d'une plante compagne au stade de maturité des semences de l'épinette blanche devient par conséquent envisageable. Cette plante devrait évoluer en fonction des mêmes critères environnementaux que ceux qui affectent la maturation des semences de l'arbre. TAN (1989) a déjà établi une relation similaire entre la maturité des semences d'*Abies alba* et de *Picea excelsa* et la chute des feuilles de *Fagus silvatica*. Il n'est toutefois pas possible d'associer le changement de coloration ou la chute des feuilles au moment de maturité des semences de l'épinette blanche puisque cette dernière étape se produit au Québec entre la mi-août et la mi-septembre. L'épilobe à feuilles étroites (*Epilobium angustifolium* L.) a été sélectionnée dans cette étude parmi plusieurs plantes boréales compte tenu qu'il est facile de trouver cette plante à proximité de chacune des provenances d'épinette blanche et qu'elle croît à proximité des routes et dans les champs (MOSQUIN 1966; ROUSSEAU 1974).

La présente démarche vise à démontrer la dynamique du développement des semences d'épinette blanche et à identifier les facteurs environnementaux et génétiques qui peuvent influencer ce développement. En dernier lieu, nous essayons d'établir la relation phénologique qui existe entre la maturation de ces semences et la progression d'une plante compagne.

Tableau 1. Caractéristiques et positionnement géographique des provenances et des stations météorologiques

Provenance						Stations météorologiques		
Nom	Longitude, Latitude	Altitude (m)	Drainage[1]	Type de sol	Pente (%)	Nom	Longitude, Latitude	Altitude
Saint-Georges-de-Beauce	70° 41', 46° 06'	265	4	Sable + roc	~ 10	Saint-Georges-de-Beauce	70° 40', 46° 06'	625
Shawinigan	72° 39', 46° 35'	125	4	Sable	~ 10	Louiseville	72° 56', 46° 15'	12
East Angus	71° 38', 45° 28'	200	5	Sable	~ 10	Sherbrooke	71° 54', 45° 24'	190
Les Escoumins	69° 26', 48° 24'	150	3-4	Sable loameux	5	Les Buissons	68° 22', 49° 06'	20
Pont-Rouge[2]	71° 42', 46° 45'	100	4	Sable +	5	Sainte-Catherine[2] Saint-Augustin[2]	71° 38', 46° 52' 71° 28', 46° 44'	170 60

[1] D'après Anonyme (1978)
[2] Les données météorologiques proviennent de la moyenne des stations de Sainte-Catherine et de Saint-Augustin

1. Matériel et méthodes

1.1 Récolte et préparation des semences

Cinq provenances d'épinette blanche, âgées de 30 à 60 ans, ont été étudiées entre la mi-juillet et la mi-septembre 1989 (tableau 1). Huit arbres par provenance furent échantillonnés chaque semaine à raison de 100 cônes par arbre.

Les semences ont été extraites après 10 semaines d'entreposage dans un séchoir à air libre avant d'être séchées à 53° C durant 8 heures. L'extraction a été complétée par un brassage mécanique des cônes dans des sacs de papier. Le désailage s'est fait par frottement mécanique des semences entre elles dans un sac de coton. Le nettoyage final nécessitait une souffleuse* à graines dont la vélocité était constante pour tous les lots de semences.

La progression du développement des semences, selon le positionnement sur l'arbre, a été étudiée sur dix individus provenant de la vallée de la rivière Jacques-Cartier. Chacun des arbres a été subdivisé en trois parties égales à partir du sommet. Une récolte hebdomadaire de 200 cônes a été réalisée aléatoirement autour de l'arbre pour chacune de ces trois sections entre le 18 juillet et le 6 septembre 1988. Les cônes récoltés ont été traités de la manière décrite ci-dessus. Seuls les cônes de la section du milieu (zone 2) ont été coupés en trois parties égales avant le séchage afin d'évaluer la dynamique du développement des semences au sein d'un cône.

1.2 Tests de germination

Le taux de germination exprimé au pourcentage a servi à mesurer l'état de maturité des semences et a été réalisé selon les recommandations de l'ISTA (1985). Les tests étaient menés dans des plats de germination[1] avec un substrat humide (*Kimpak*[2]) supporté par une grille sous laquelle il y avait un réservoir d'eau ozonisée. Quatre groupes de 100 semences de chaque lot étaient placées dans les plats avec une stratification* de 3 semaines à 4° C. Les plats de germination ont été placés dans un germoir (*Conviron G-30*[3]) avec une alternance de 8 heures de lumière à 30° C et de 16 heures d'obscurité à 20° C durant 21 jours. Les semences étaient considérées comme germées lorsque les cotylédons devenaient visibles.

1.3 Accumulation de la température

La somme quotidienne en degrés-jours (*DJ*) et en unités thermiques (*UT*) a été évaluée depuis le début de la saison de végétation (*DSV*) à partir du moment où la température moyenne quotidienne était effective ($T_e \geq 0$). Chaque sommation était déterminée à partir des températures quotidiennes minimales (T_{min}) et maximales (T_{max}) aux stations météorologiques les plus proches des lieux de récolte (tableau 1). Ces stations météorologiques font partie du Réseau d'avertissement phytosanitaire du Québec.

$$[1]\quad DJ = \sum_{T_e \geq 0}^{DSV} \frac{(T_{max} - T_{min})}{2} - 5^\circ C$$

$$[2]\quad UT = \sum_{T_e \geq 0}^{DSV} [0{,}90\,(T_{min} - 4{,}4^\circ C) + 1{,}665\,(T_{max} - 10^\circ C) - 0{,}042\,(T_{max} - 10^\circ C)^2]$$

---

1 Disponibles chez *Spencer-Lemaire Ind. Ltd.*, 11413 - 120 Street, Edmonton, Alberta T3G 2Y3.

2 Feuilles de cellulose crêpée manufacturées par *Seedburo Equipment Co.*, 1022 West Jackson Blvd., Chicago, Illinois 60607-2990, É.-U.

3 *Controlled Environments*, Winnipeg.

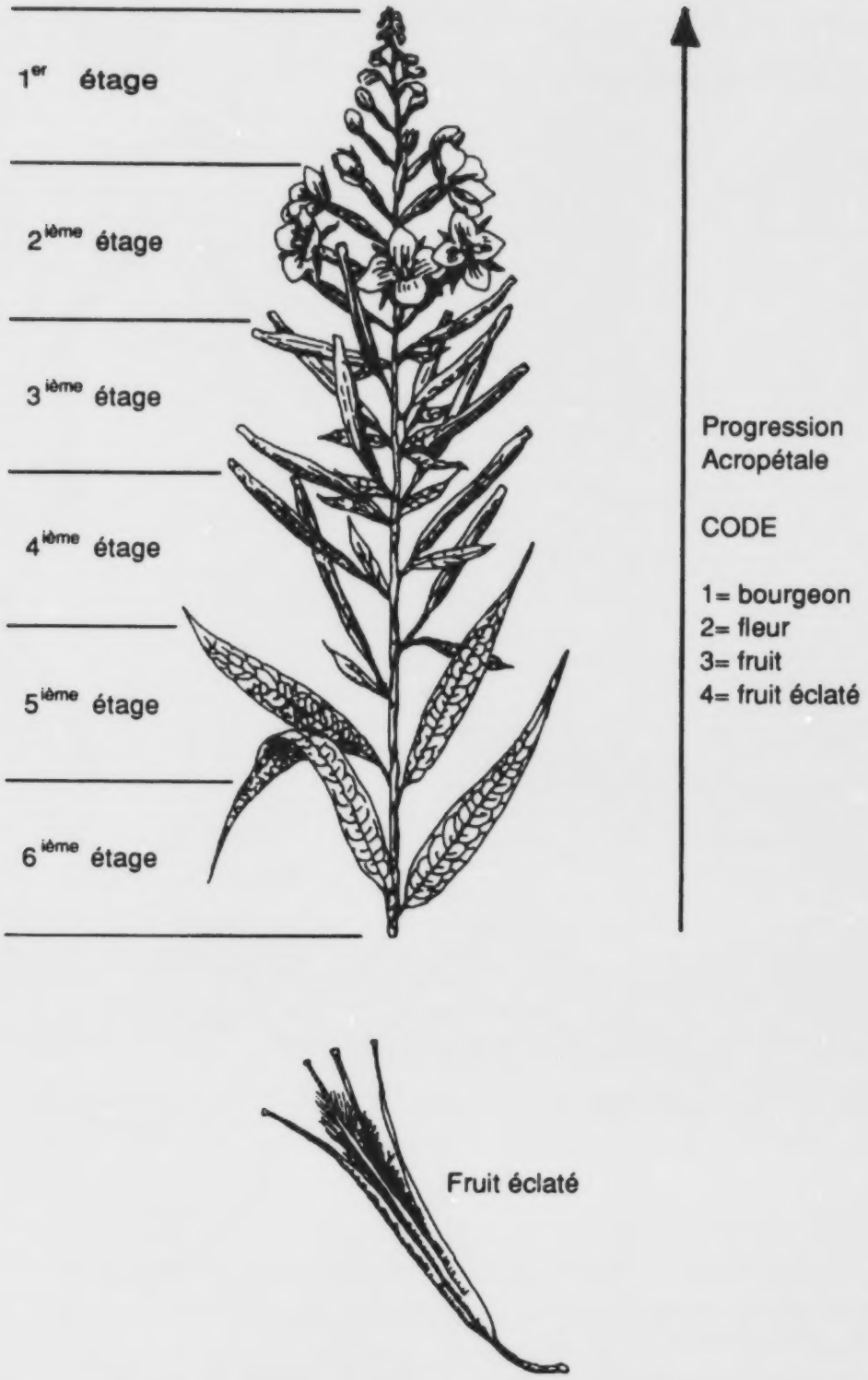

Figure 1. Subdivision de la hampe florale de l'*Epilobium angustifolium* et classification des phénophases

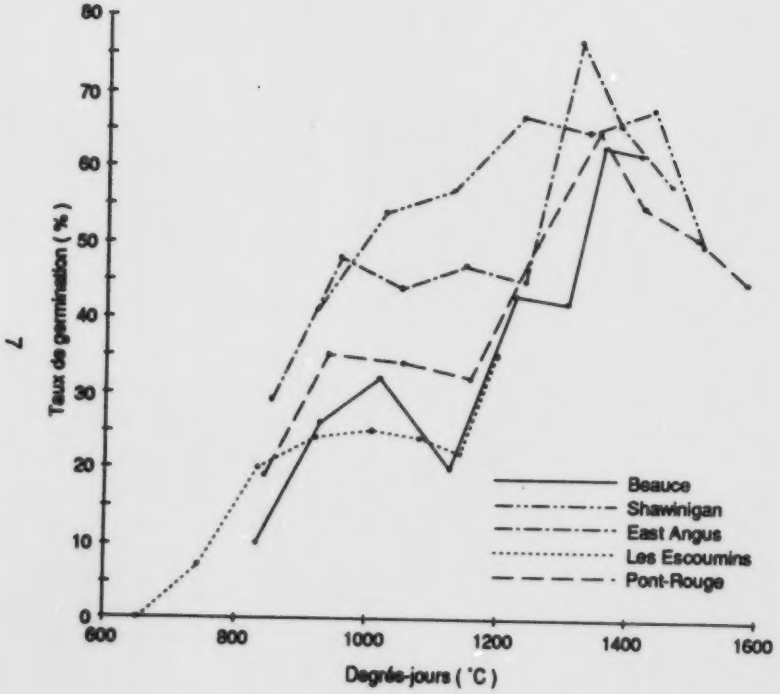

Figure 2. Progression du taux de germination de semences d'épinette blanche en fonction des degrés-jours

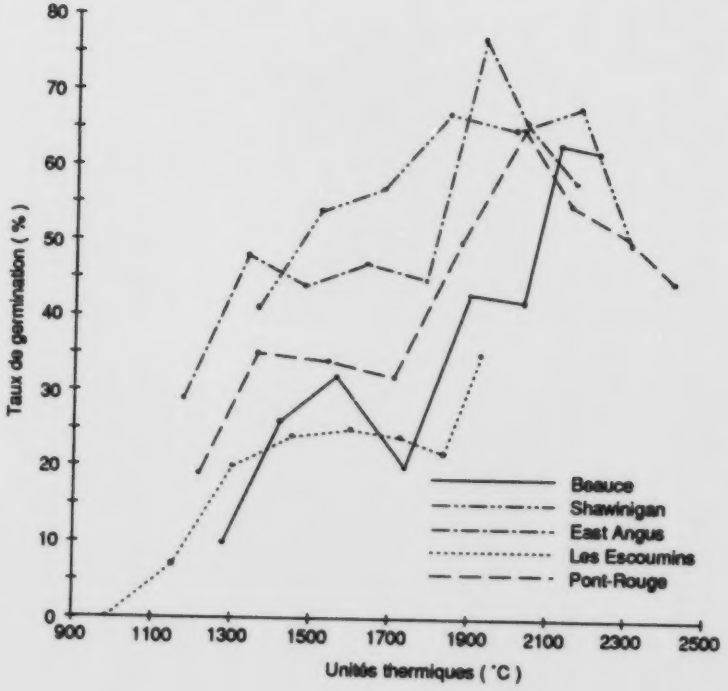

Figure 3. Progression du taux de germination des semences d'épinette blanche en fonction des unités thermiques

1.4 Phénophases de l'épilobe

Pour l'étude des phénophases de l'épilobe, on a retenu une vingtaine d'épilobes par station. L'inflorescence de chaque plant a été divisée fictivement en six parties de longueur égale, chacune correspondant au 1/6 de la longueur totale de l'inflorescence afin d'identifier plus précisément chacune de ses phénophases (figure 1). La journée même de la récolte des cônes, on attribuait à chacune de ces sections une des quatre classes suivantes de développement floral; (1) boutons floraux (2) fleurs, (3) capsules et (4) capsules éclatées.

La section de la base ne passe pas à la phénophase suivante avant que toute la hampe ait atteint le même stade de développement. La quantification de la phénophase globale de l'inflorescence est obtenue en additionnant les classes de chacune des sections. Le résultat donne une valeur comprise entre 6 et 24.

1.5 Traitement des données

Le test de Spearman a été réalisé sur le taux de germination, le développement de l'épilobe, les degrés-jours et les unités thermiques selon SAS (1985), après avoir vérifié la linéarité. La variation intrapopulation (*VIP*) de la date de maturité des semences est représentée par l'équation suivante:

$$[3] \qquad VIP = \frac{2 \text{ X intervalles de confiance X } 100}{\text{moyenne}}$$

Les intervalles de confiance ont été calculés avec un seuil de précision de 5 p. cent après avoir vérifié la normalité de la courbe.

2. Résultats

2.1 Taux de germination

Il est possible de suivre la progression du taux de germination des semences pour chacune des provenances selon l'accumulation des degrés-jours (figure 2) et des unités thermiques (figure 3). Les semences sont considérées comme matures lorsqu'elles atteignent leur plus haut taux de germination au cours de la saison de croissance (MERCIER 1991).

Dans l'ensemble, les semences d'épinette blanche sont à maturité lorsque l'accumulation de la température atteint 1276 ± 112 degrés-jours ou 1943 ± 155 unités thermiques (tableau 2). Seuls les cônes de la provenance des Escoumins se sont ouverts avant que l'accumulation de la température ait pu atteindre ces dernières valeurs (figures 2 et 3). Cette dernière observation fait ressortir qu'en toute vraisemblance, les graines de cette provenance ont été dispersées dans la nature avant d'être à maturité. Une observation semblable a déjà été faite en Alaska (ZASADA 1988). Par ailleurs, les valeurs minimales et maximales des taux de germination varient d'une provenance à l'autre (figures 2 et 3) et suggèrent que certaines provenances produiraient des semences de qualité supérieure à certaines autres. Il est probable en fait que c'est plutôt la technique de triage des semences utilisées qui est en cause.

2.2 Accumulation de la température

Les semences d'épinette blanche parviennent à maturité lorsqu'il y a accumulation de 1276 ± 112 degrés-jours ou 1943 ± 155 unités thermiques (figures 2 et 3); toutefois, ces dernières donnent une meilleure précision que les premiers (tableau 3).

L'accumulation de la température n'explique pas à elle seule la vitesse de développement des semences d'épinette blanche. Le tableau 2 montre qu'environ 12 p. 100 des individus d'une même population ont des cônes qui parviennent à maturité à un moment différent du reste de la population, avec jusqu'à deux semaines d'écart dans certains cas.

La figure 4 montre la relation qui existe entre les degrés-jours et les unités thermiques pour chacune des provenances. Cette relation est linéaire mais présente néanmoins des différences entre les populations.

2.3 Progression des semences selon le positionnement sur l'arbre

Les semences d'un même arbre ne parviennent pas toutes à maturité à la même période. De toutes les positions sur l'arbre, c'est sans doute l'orientation qui est le facteur prépondérant en ce qui concerne la vitesse de développement des semences. Dans l'ensemble des cas, les cônes orientés du côté sud de l'arbre parviennent à maturité au moins une semaine avant ceux orientés du côté nord.

Les semences qui proviennent des cônes situés au sommet de l'arbre se développent plus rapidement que celles des étages inférieurs à raison d'un gradient de germination qui varie entre 10 et 15 p. 100 (figure 5). C'est donc dire que la progression de la maturité des semences suit une dynamique basipède* et que les semences du sommet arrivent à maturité une semaine avant celles des étages inférieurs.

Tableau 3. Coefficients de corrélation de Spearman entre le taux de germination, le développement de l'épilobe, les degrés-jours et les unités thermiques[1]

Variables	1	2	3	4
1. Taux de germination[2]	1,00000	0,91573	0,84085	0,88095
2. Développement de l'épilobe[3]		1,00000	0,89130	0,93972
3. Degrés-jours[4]			1,00000	0,98011
4. Unités thermiques[4]				1,00000

[1] $\alpha = 0,05$ [2] n = 360 [3] n = 800 [4] n = 40

Tableau 4. Références sur le nombre degrés-jours et le nombre de jours après la pollinisation pour atteindre la maturité des semences d'épinette blanche

Degrés-jours[1] (° C)	Nombre de jours après la pollinisation	Région	Référence
N.D.[2]	97-99	Saskatchewan	Gram et Worden 1957
N.D.	107	Manitoba	Waldron 1965
834	97	Alaska	Zasada 1973
1250	93-101	Ontario	Winston et Haddon 1981
1200	N.D.	Nouveau-Brunswick	Smith 1983
1200-1300	N.D.	Québec	Morissette et Grenier 1987

[1] Seuil de 5° C
[2] N.D. = non déterminé

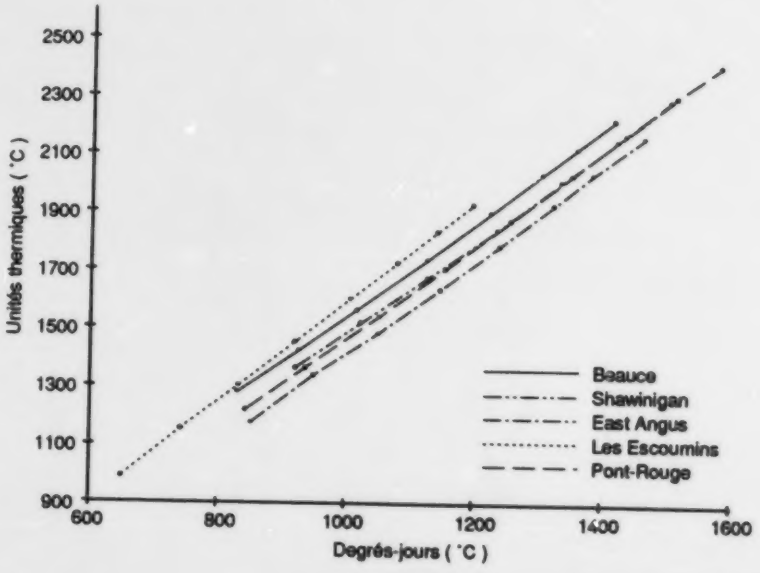

Figure 4. Relation entre les degrés-jours et les unités thermiques pour chaque provenance

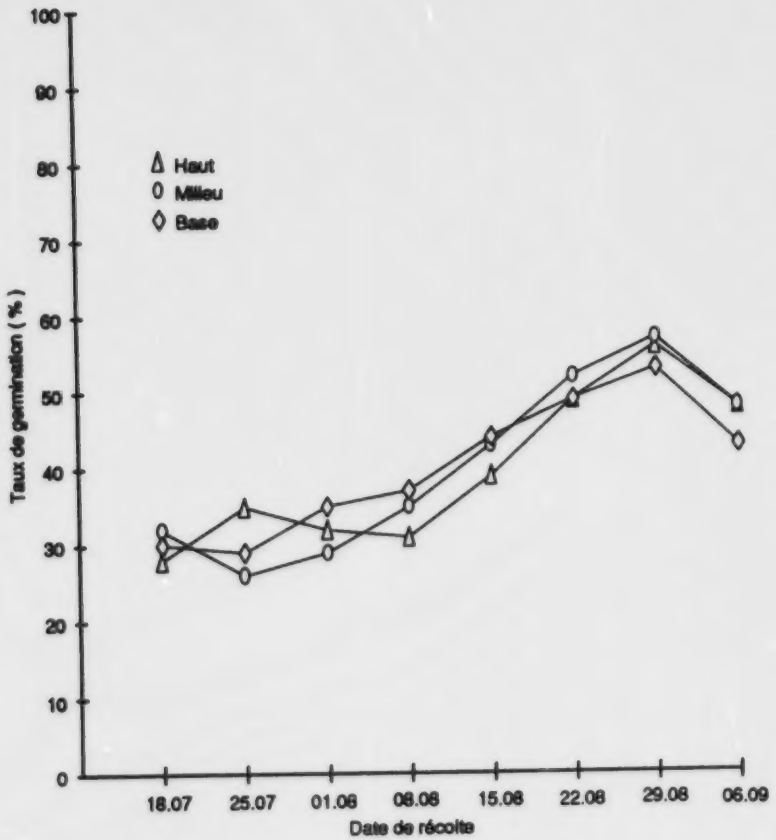

Figure 5. Progression de la maturité des semences d'épinette blanche selon le positionnement du cône sur l'arbre

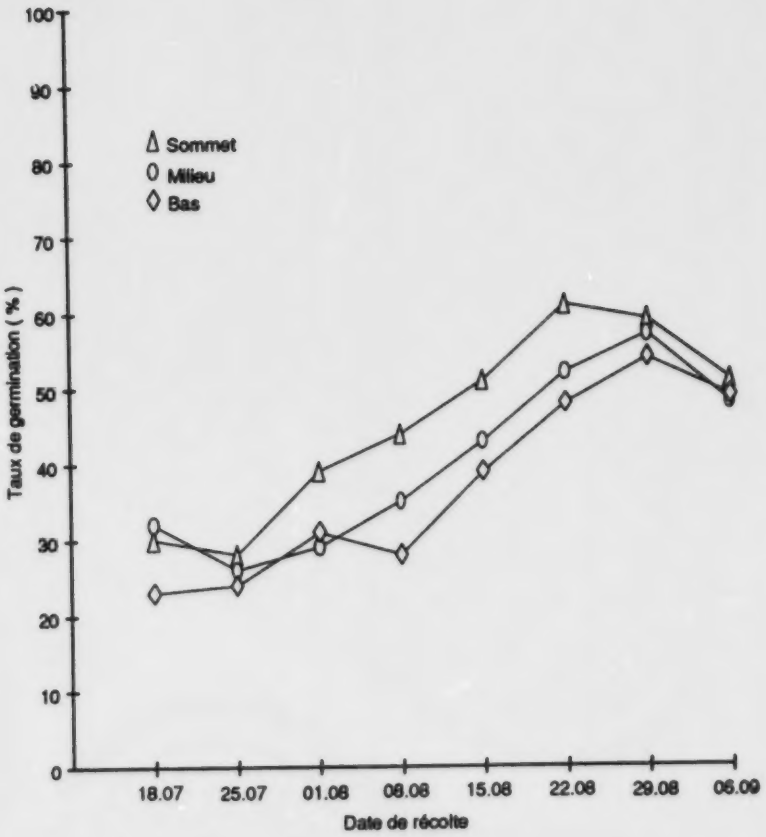

Figure 6. Progression de la maturité des semences d'épinette blanche selon leur positionnement dans le cône

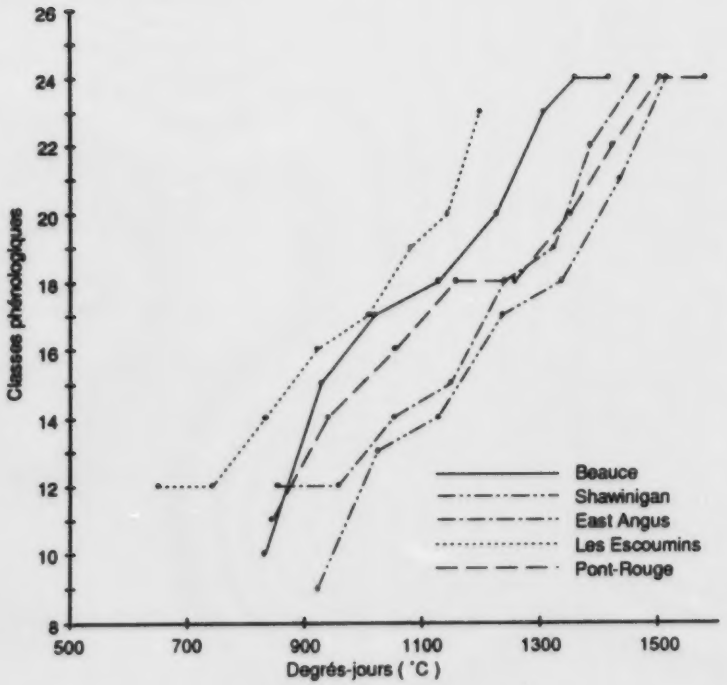

Figure 7. Progression de la hampe florale de l'épilobe en fonction des degrés-jours

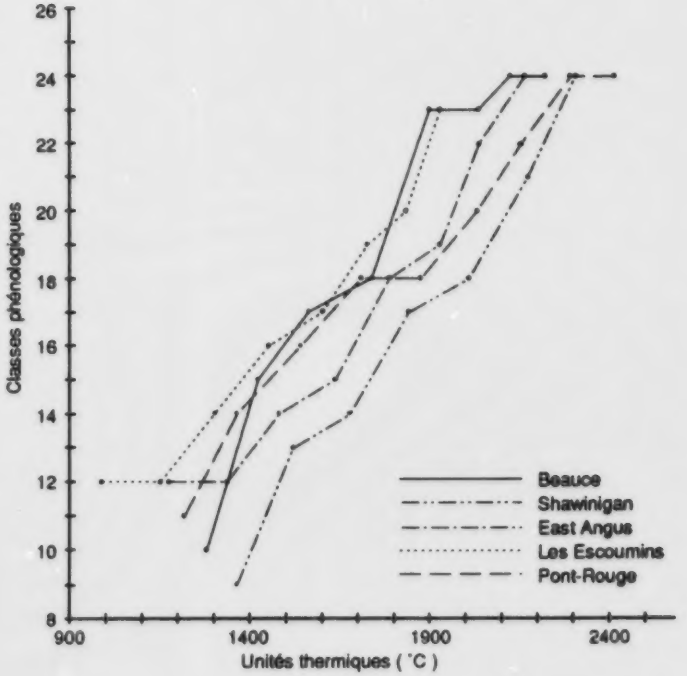

Figure 8. Progression de la hampe florale de l'épilobe en fonction des unités thermiques

Tableau 2. Dates moyennes de maturité des semences d'épinette blanche avec les degrés-jours, les unités thermiques et les phénophases de l'épilobe correspondantes pour chacune des provenances

Provenance	Date de maturité[1]	Degrés-jours			Unités thermiques			
		Moyenne[2]	Intervalle de confiance[4]	Variation[3] (%)	Moyenne[2]	Intervalle de confiance[4]	Variation[3]	Phénophases de l'épilobe[5]
Saint-Georges-de-Beauce	15 août	1313,31	66,04	10,04	2048,63	111,31	10,86	22
Shawinigan	22 août	1283,81	145,69	22,70	1928,84	232,93	24,16	18
East Angus	15 août	1321,35	39,26	5,94	1926,44	67,22	12,38	19
Les Escoumins	5 septembre	1124,00	65,02	11,58	1803,25	111,60	12,38	16
Pont-Rouge[6]	22 août	1337,33	5,18	8,26	2010,07	92,44	9,20	19
Moyenne		1275,96	111,88	11,70	1943,44	154,46	12,72	19

[1] Correspond à la semaine de maturité
[2] Représente la moyenne de 8 arbres
[3] Correspond à : $\frac{2 \times \text{intervalles de confiance} \times 100}{\text{moyenne}}$
[4] Les courbes sont normales
[5] Correspond aux classes phénologiques
[6] Ces valeurs correspondent à la date de la dernière récolte plutôt qu'au le moment de la maturité

La figure 6 montre qu'il n'existe aucune différence significative dans la vitesse de maturation entre les trois parties du cône : base, milieu et sommet. De plus, la qualité des semences est identique à l'intérieur d'un même cône. En fait, toutes les parties du cône produisent des semences ayant la même performance à la germination.

2.4 Phénophases de l'épilobe

On peut observer une progression successive de la base de la hampe vers le sommet – progression acropétale* – avec un décalage d'environ 3 à 7 jours entre chacune des six sections. Les figures 4 et 5 représentent la progression phénologique de la hampe florale de l'épilobe en fonction des degrés-jours et des unités thermiques respectivement. Un lien étroit est démontré entre le début de l'éclatement des capsules à la base de l'inflorescence de l'épilobe (classe phénologique 19) et la période de maturité des semences (r_s = 0,92). Le tableau 3 fait ressortir les corrélations qui existent entre le taux de germination, le développement de l'inflorescence de l'épilobe, les degrés-jours et les unités thermiques. Il existe un lien étroit entre chacun de ces derniers paramètres. Toutefois, on remarque une meilleure corrélation entre le taux de germination et les unités thermiques plutôt que les degrés-jours. Il en est ainsi pour le développement de l'épilobe par rapport aux unités thermiques.

3. Discussion

3.1 Facteurs influençant la maturation

Les effets de différentes variables climatiques sur les mécanismes qui régularisent la régénération naturelle de l'épinette blanche sont encore mal connus. Seule la relation qui existe entre l'accumulation de chaleur et la croissance des semences a été démontrée à quelques reprises (tableau 4). Certains auteurs pensent que la dispersion des semences d'épinette blanche est directement liée au moment de dissémination du pollen (tableau 4). Cette hypothèse semble peu valable puisque la dispersion des semences n'est pas liée à la photopériode comme c'est le cas pour le pollen (OWENS et MOLDER 1979; MERCIER et STIPANICIC 1990).

Les gelées hâtives d'une seule nuit à l'automne, surtout fréquentes dans les hautes latitudes et altitudes, accélèrent la maturation des semences mais une période de gelée plus longue diminue le taux de germination des semences, ce qui serait dû à une mortalité ou une entrée en dormance (SIMAK 1966; KARDELL *et al.* 1973). L'écart de la température quotidienne observé aux Escoumins (figure 4) pourrait induire la dormance. Cette hypothèse expliquerait les faibles taux de germination obtenus aux Escoumins (figures 2 et 3) ainsi que la dormance aléatoire des semences de l'épinette blanche en général. L'ouverture des cônes de la provenance des Escoumins survient avant que l'accumulation des degrés-jours ou des unités thermiques ne soit atteinte. Cette observation indique qu'en toute vraisemblance, les graines de ces provenances sont dispersées dans la nature avant d'être parvenues à maturité. Une observation semblable a déjà été faite en Alaska (ZASADA 1988). D'autre part, des travaux antérieurs montrent que le taux de germination diminue en fonction de l'altitude (WARDLE 1970; MORIN 1986) et de la latitude (BLACK et BLISS 1980. En Alaska, ZASADA (1973) décèle des semences matures à partir de 843 degrés-jours (tableau 4); ceci laisse supposer que les semences d'arbres se situant plus au nord ou en altitude demandent moins de chaleur pour parvenir à maturité (WINSTON et HADDON 1981). Par conséquent, il existe peut-être une dynamique différente de maturation selon la situation géographique. Selon MORIN (1986), seuls les peuplements des basses latitudes et altitudes peuvent fournir des semences de qualité acceptable. Par ailleurs, la variabilité* du pouvoir germinatif d'une provenance à une autre suggère que certaines d'entre elles produiraient des semences de qualité supérieure à certaines autres. Il est probable en fait que s'est plutôt la technique de triage des semences utilisée qui est en cause. À vélocité égale, il est plus difficile d'éliminer les graines vides lorsque le poids moyen des semences du lot est faible. OWENS et MOLDER (1984) ont montré que les semences de provenances élevées en altitude et en latitude sont généralement plus petites.

Le développement des semences de l'épinette blanche varie légèrement à l'intérieur d'une même population. Près de 12 p. cent des individus parviennent à maturité à un moment différent de celui du reste de la population. Ces variations intra-populations peuvent être dues à une combinaison de plusieurs facteurs. Certains ouvrages ont démontré que la date de maturité change selon le degré de la pente et l'exposition de l'arbre (MARQUARD et HANOVER 1984; YOUNG et YOUNG 1986). D'autres facteurs climatiques ou édaphiques peuvent sans doute influencer la progression de la semence à l'échelle individuelle. En ce sens, des facteurs biotiques* comme les insectes ou les pathogènes modifient quelque peu la période de maturité (CRAM 1956). Le développement général de la semence peut être aussi partiellement affecté par le génotype de l'arbre (SWEET 1965; NIENSTAEDT 1978; SMITH 1983). Bref, cette variation intra-population semble être due à un ensemble de facteurs qui nous sont encore étrangers. Il est encore plus difficile de savoir s'il existe des variations inter-populations qui sont dues à des facteurs autres que l'environnement.

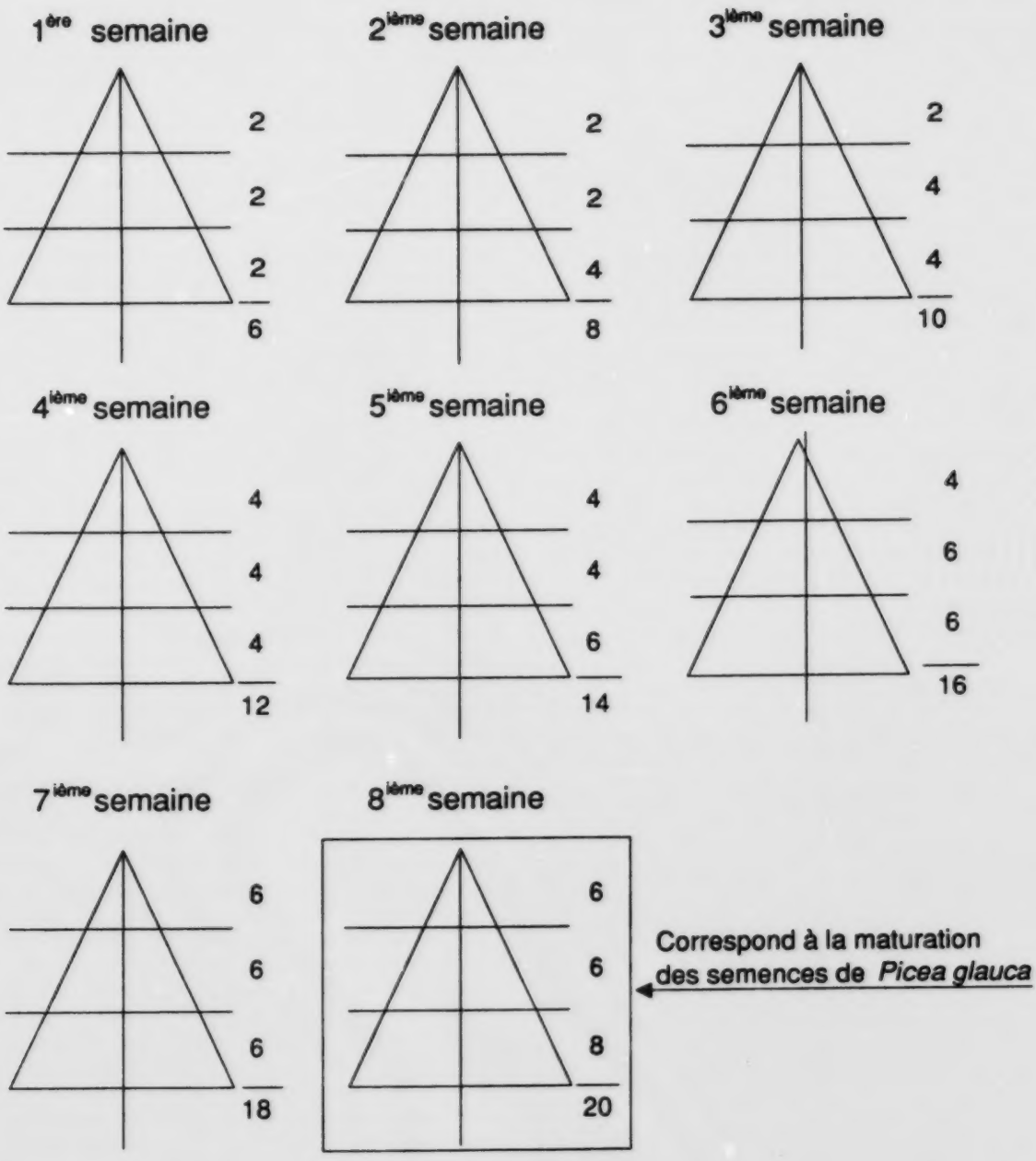

Figure 9. Développement de l'inflorescence de l'*Epilobium angustifolium* en fonction du temps et description de chacune des phénophases

Quoi qu'il en soit, l'échantillonnage sur un seul arbre pour déterminer la période de récolte de l'ensemble du peuplement peut être risqué. Dans ce cas, l'opérateur aura une chance sur 6 ou 8 d'échantillonner un arbre dont les cônes parviendront à maturité à une période différente de l'ensemble de la population (maturité précoce ou tardive). Selon le cas, on peut diminuer ce risque de façon significative en échantillonnant sur au moins trois arbres afin de réduire les risques d'erreur à 1 sur 64.

Par ailleurs, la figure 5 montre l'existence d'un gradient de maturité à l'intérieur d'un même arbre. Les semences situées au sommet de l'arbre parviennent à maturité au moins une semaine avant celles des parties sous-jacentes de l'arbre. Au moment d'échantillonner les cônes qui serviront à déterminer l'état de maturité de l'ensemble des semences du peuplement, il est donc impératif de récolter au sommet de l'arbre et vers le sud. Les variations observées à l'intérieur d'un même arbre sont engendrées par les variations d'exposition et d'ensoleillement.

3.2 Modèle de prédiction de la maturité

La date de maturité semble être en étroite relation avec la localisation géographique de la station, laquelle est caractérisée par l'accumulation de la température (tableau 3). En raison de sa simplicité, la méthode des unités thermiques (DURAND 1967) offre de nombreuses applications dans le domaine de la prédiction des phases de développement et elle est pratiquée depuis plusieurs années en agronomie (ARNOLD 1959; TROTTIER 1980; GERBIER 1982). Les plantes indicatrices peuvent être considérées comme des instruments météorologiques suffisamment sensibles pour intégrer l'effet des divers facteurs environnementaux (DUBÉ et CHEVRETTE 1978a). Les fluctuations des autres paramètres environnementaux tels que l'ensoleillement, l'humidité relative de l'air, les précipitations, le vent, etc. peuvent avoir un rôle non négligeable en phénologie (WINSTON et HADDON 1981). L'emplacement géographique d'un site est caractérisé par des valeurs spécifiques de latitude, de longitude et d'altitude qui donnent une combinaison climatique spécifique. La progression des phénophases est fortement influencée par les facteurs environnementaux de chacun des sites (DUBÉ et CHEVRETTE 1978b; CASTONGUAY *et al.* 1984). Quels que soient les indices météorologiques, l'impact de la latitude est le plus important puisqu'il traduit l'importance du rayonnement solaire incident et le réchauffement subséquent de la température de l'air (DUBÉ et CHEVRETTE 1978b). L'influence de l'altitude est aussi significative mais moins marquée que celle des deux autres paramètres. Peu de nos stations sont localisées à des altitudes élevées et le degré et l'orientation de la pente sont également minimaux de sorte que ces facteurs influencent peu nos résultats (tableau 1). Ceci n'exclut toutefois pas l'exposition de l'arbre, dont l'ensoleillement de la plante indicatrice peut être partiellement voilé par des arbres de plus grandes dimensions poussant à proximité. On sait également que la production de cônes sur un arbre et la vitesse de maturation sont beaucoup plus élevés du côté sud que du côté nord (MARQUARD et HANOVER 1984). Pour ces raisons, l'exposition au soleil, même en terrain plat, devrait être davantage considérée dans les travaux ultérieurs, de manière à avoir une constance dans le type d'exposition.

L'avantage d'utiliser ces plantes est double; il permet d'intégrer l'effet cumulatif des facteurs environnementaux et aussi d'obtenir un réseau météorologique à grande échelle à proximité des lieux de récolte des cônes. En effet, les différences qui sont observées entre les provenances, même après une pondération avec les degrés-jours ou les unités thermiques, peuvent être dues aux différences géographiques qui séparent la station météorologique de la station expérimentale (tableau 1). D'ailleurs, on note une différence entre la mesure des degrés-jours et celle des unités thermiques (figure 4); les premiers sont basés sur une moyenne arithmétique de la température quotidienne alors que les secondes proviennent d'une intégration sous la courbe de ces moyennes. L'écart quotidien de la température est donc plus grand aux Escoumins qu'à East Angus.

L'*Epilobium angustifolium* a déjà fait ses preuves en phénologie comme plante indicatrice pour évaluer le développement des oeufs de *Zeiraphera diniana* dans les Alpes (Communication personnelle de W. BALTENSWEILER, Institut de la Science des Plantes, Suisse). De plus, on l'a sélectionnée parmi plusieurs plantes boréales à cause de :

i) sa large distribution à l'intérieur du territoire québécois;

ii) sa grande facilité d'adaptation aux différents milieux et particulièrement aux bords de route;

iii) son développement en colonies qui la rend facilement repérable à distance;

iv) son inflorescence qui est bien développée et qui évolue rapidement durant la période de la maturation des semences de l'épinette blanche;

v) la progression de ses phénophases qui est influencée par l'accumulation de la chaleur.

Dubé et Chevrette (1978b) précisent d'autres critères qui sont particuliers aux plantes indicatrices.

La hampe florale de l'épilobe montre une progression rapide; on observe un décalage de 3 à 7 jours entre chacune des six sections. La figure 9 présente la dynamique de progression de la hampe florale de l'épilobe en fonction du temps. Selon les lois bioclimatiques de Hopkins, pour une phénophase donnée et dans les conditions climatiques de l'Amérique du Nord, il existe un taux moyen de progression des phénophases de quatre jours pour chaque degré de latitude (du sud vers le nord), pour chaque 5 degrés de longitude (de l'ouest vers l'est) et pour chaque 120 m d'altitude (HOPKINS 1918 dans DUBÉ et CHEVRETTE 1978a).

En plus des conditions climatiques, l'épilobe peut être influencé par les conditions édaphiques, comme le sont les semences (ZASADA 1988). De tous les critères édaphiques, il semble que se soit le drainage du sol qui affecte le plus la vitesse de développement d'une plante (BARNARD *et al.* 1978; BLAIR 1978; LETTAU 1974). Il est primordial d'accorder une importance à la qualité du sol où se trouvent les colonies d'épilobe. Les individus retenus dans cette étude poussaient sur des sites à drainage bon avec un sol principalement sablonneux (tableau 1). Cependant, cette plante peut croître dans une multitude de milieux écologiques (MOSQUIN 1966). De façon pratique, il serait pertinent de sélectionner les colonies à partir de caractéristiques du milieu édaphique semblables à celles qui ont déjà été décrites.

La génétique de la plante indicatrice pourrait être une source de variation à l'intérieur de sa phénologie. MOSQUIN (1966) note des variations génétiques dans l'inflorescence de l'épilobe. Ces différences apparaissent dans la longueur de la hampe, la couleur des pétales et les dimensions du style. Toutefois, aucune étude n'a démontré de lien entre la vitesse de développement de sa hampe florale et les génotypes de l'épilobe.

La maturité des semences est atteinte à des périodes différentes selon l'année de production, la localisation géographique du peuplement, l'orientation et la position des cônes sur l'arbre. En fait, ce sont les cônes situés au sommet et orientés du côté sud de l'arbre qui parviendront à maturité en premier. Toutefois, il se peut que les provenances nordiques ou de haute altitude produisent des semences qui n'atteindront jamais leur maturité, par manque d'accumulation de chaleur durant la saison estivale.

L'accumulation de la température, qu'elle soit exprimée en degrés-jours, en unités thermiques* ou, mieux encore, selon les phénophases de l'épilobe, est un point de repère qui permet de fixer, quelque temps à l'avance, la date moyenne du début de la récolte de cônes. La précision de ce type de modèle ne dépend pas du choix d'une date de départ des accumulations *DSV* ni de la température-seuil T_e (CASTONGUAY *et al.* 1984); elle ne tient évidemment pas compte de la variabilité entre les individus d'une même population. Toutefois, l'avantage qu'il y a d'utiliser les phénophases de l'épilobe pour indiquer la maturité des semences de l'épinette blanche est d'avoir une station météorologique naturelle et intégrée à chacune des provenances. La période de récolte des cônes d'épinette blanche peut être prévue en suivant la progression acropétale de l'inflorescence de l'épilobe. L'éclatement des capsules à la base de la hampe, qui correspond au moment de maturité des semences, est un événement phénologique facilement repérable et prévisible. De la même manière que l'épilobe permet d'estimer le moment de maturité des semences, il pourrait également servir à prédire le moment d'ouverture des cônes, ce qui s'avérerait une information intéressante pour les cueilleurs de cônes. En somme, l'utilisation de la phénologie de plantes indicatrices s'avère être un outil potentiel pour déterminer et prédire les dates de maturité d'une population de semences d'arbres forestiers.

Chapitre II

Périodes de maturation et de récolte des semences

La récolte des cônes se réalise généralement à l'intérieur d'un intervalle de temps compris entre le début de la maturité des semences et l'ouverture des cônes. Pour l'épinette blanche, cet intervalle est problématique puisqu'il semble que le délai ne serait guère supérieur à deux semaines (STIELL 1981; SMITH 1983) et qu'il varie en fonction de la saison et des sites de récolte au cours d'une même saison (ZASADA 1988). Les critères pratiques les plus fréquemment utilisés sont la couleur et la flexibilité des cônes (CROSSLEY 1953; WINSTON et HADDON 1981; ANONYME 1986). Toutefois, avec le temps, ces critères se sont avérés peu fiables (BEAUCHESNE 1985). En 1987, MORISSETTE et GRENIER ont réalisé une revue de littérature qui leur a permis d'évaluer l'efficacité des différents indicateurs de maturité proposés en Amérique du Nord. Plusieurs de ces indices se rapportent à des critères subjectifs comme la friabilité et la fermeté de la semence. Les suivis physiologiques des semences d'épinette blanche sont de très bons indicateurs de maturité. En ce sens, plusieurs composés ont été étudiés comme les glucides* (REDISKE 1961; 1969), les lipides* (REDISKE et NICHOLSON 1965), les nucléotides et l'acide abscissique (Voir chapitre III). Mais ces suivis demeurent néanmoins peu pratiques. D'autres critères, bâtis sur des concepts pratiques, objectifs et quantifiables comme la longueur de l'embryon* (EDWARDS 1979; STIELL 1981; LEADEM 1981), la densité spécifique du cône (ZASADA 1973; BARNETT 1979; WINSTON et HADDON 1981), la teneur en eau des cônes (BARNETT 1979; BEAUCHESNE 1985) et la flottaison des cônes dans une solution de densité connue (CRAM et WORDEN 1957; STIELL 1981) s'appliquent spécifiquement à un territoire donné et peuvent difficilement être utilisés tels quels sur les provenances des autres territoires. En outre, aucune étude n'a précisé avec assurance le seuil de ces indicateurs pour les provenances québécoises d'épinette blanche.

En période de demande élevée et d'offre faible la production de graines d'épinette blanche étant un phénomène épisodique variant de 2 à 6 ans (USDA 1974) la durée de la récolte prend beaucoup d'importance de sorte qu'il est souhaitable de pouvoir récolter les cônes le plus tôt possible. Il devient alors important de faire le lien entre la période de récolte des cônes et la maturité des semences. La première partie de ce document a montré que l'observation de la hampe florale de l'*Epilobium angustifolium* peut prédire le début de la maturité des semences de l'ensemble d'une population d'épinette blanche. Toutefois, cet indicateur ne tient pas compte des variations intra-populations, estimées à 12 p. cent. Certains auteurs pensent qu'il est possible de cueillir les cônes plusieurs semaines avant leur maturité à condition de favoriser le développement de ces semences dans le cône durant une période d'entreposage adéquate (GORDEN et LODGE 1978; WINSTON et HADDON 1981; WANG 1986). Toutefois, il ressort de ces études que les semences qui sont récoltés avant la période de maturité se conservent mal (MULLER 1974; YOUNG et YOUNG 1986).

Le premier objectif de notre étude vise à identifier les phases de maturité des semences de l'épinette blanche du Québec et à préciser le degré de fiabilité de certains indicateurs de maturité tels que la longueur de l'embryon, la teneur en eau, la densité spécifique et le taux de flottaison des cônes. Le second objectif vise à déterminer, en fonction de la date de récolte, la viabilité des semences après 15 mois de conservation en vue de délimiter le plus précisément possible la période de récolte pour obtenir des semences de qualité.

* * *

1. Matériel et méthodes

1.1 Récolte et préparation des semences

Les semences ont été extraites après 10 semaines d'entreposage des cônes dans un séchoir à air libre avant d'être séchées à 53° C durant 8 heures. L'extraction a été complétée à l'aide d'un brassage mécanique des cônes dans des sacs de papier. Le désailage s'est fait par frottement mécanique des semences entre elles dans un sac de coton. Le nettoyage final faisait appel à une souffleuse à graines dont la vélocité était constante pour tous les lots de semences. Les semences étaient ensuite conservés à l'obscurité à 4° C jusqu'à leur utilisation pour les tests de germination.

Huit branches de chaque arbre de la station de Pont-Rouge ont été respectivement recouvertes d'un sac de « coton à fromage » pour récolter les semences qui s'échapperaient au cours de la période d'ouverture des cônes, afin de comparer leur viabilité à celles des semences qui demeuraient dans les cônes. Le contenu de chacun des sacs était récolté une semaine après le début de l'ouverture des cônes. A ce stade, environ la moitié des semences avaient été disséminées. Les semences ainsi recueillies furent traitées de manière identique aux autres lots. Un test de germination a été réalisé sur les semences disséminées et sur les lots de semences restant dans les cônes.

Cinq provenances d'épinette blanche âgées de 30 à 60 ans furent étudiées entre la mi-juillet et la mi-septembre de 1988 et de 1989 (tableau 1). Huit arbres par provenance furent échantillonnés chaque semaine à raison de 100 cônes par arbre.

1.2 Tests de germination

Le taux de germination exprimé en pourcentage a servi à mesurer l'état de maturité des semences selon les recommandations de l'ISTA (1985); les essais ont été menés dans des plats de germination[1] avec un substrat humide (*Kimpak*[1]) supporté par une grille sous laquelle il y avait un réservoir d'eau ozonisée. Quatre répétitions de 100 semences de chaque lot étaient placées dans les plats avec une stratification de 3 semaines à 4° C. Les plats de germination ont été placés dans un germoir (*Conviron G-30*[1]) avec une alternance de 8 heures de lumière à 30° C et de 16 heures d'obscurité à 20° C durant 21 jours. Les semences étaient considérés comme germées lorsque les cotylédons devenaient visibles. Un second test de germination a été réalisé 15 mois après la récolte pour ces mêmes provenances.

1.3 Indicateurs de maturité

Chaque récolte de cônes a été répartie en quatre groupes égaux sur lesquels on mesurait la teneur en eau, la densité spécifique et le taux de flottaison des cônes dans du méthanol dilué ainsi que la longueur de l'embryon. Pour chacun de ces groupes, cinq cônes étaient prélevés afin de déterminer la teneur en eau par soustraction de la masse humide de la masse sèche, selon la formule (BEAUCHESNE 1985);

$$[4]\quad \text{Teneur en eau (\%)} = \frac{\text{masse humide - masse sèche}}{\text{masse humide}} \times 100$$

La densité spécifique des cônes a été mesurée à partir de la masse humide de cinq cônes et de leur volume par déplacement d'eau. Le test de flottaison consistait à plonger dix cônes de chaque groupe dans une solution de méthanol dilué de manière à obtenir une densité de 0,93 g/l. Le pourcentage de flottaison a été déterminé à partir du rapport (MORISSETTE et GRENIER 1987);

$$[5]\quad \text{Taux de flottaison} = \frac{\text{Nombre de cônes flottant X 100}}{\text{Nombre total de cônes}}$$

Enfin, la longueur de l'embryon a été mesurée au microscope binoculaire avec une graduation interne et rapportée au pourcentage avec la formule (STIELL 1981);

$$[6]\quad \text{Longueur de l'embryon} = \frac{\text{longueur de l'embryon X 100}}{\text{longueur de la cavité embryonnaire*}}$$

1 Voir p. 5.

1.4 Traitement des données

Tous les résultats des tests de germination ont été validés préalablement et les intervalles de confiance représentés dans les figures ont un niveau de signification de 5 p. cent. Le test de Spearman a été réalisé sur le taux de germination, la teneur en eau, la densité spécifique et la longueur de l'embryon selon SAS (1985), après qu'on en ait vérifié la linéarité.

2. Résultats

2.1 Taux de germination et maturité

Les taux de germination observés pour chacune des provenances indiquent que la maturité des semences est atteinte à des moments différents selon la localisation géographique de la station expérimentale (figure 10). Les semences de ces peuplements ont une maturité relativement synchronisée lorsque l'on ramène les taux de germination aux degrés-jours ou aux unités thermiques (Voir chapitre premier). Certaines provenances ont de meilleurs taux de germination que d'autres. En effet, les semences matures de la provenance d'East Angus ont un taux de germination qui atteint presque 80 p. cent alors que celles des Escoumins n'excèdent pas 37 p. cent. La figure 11 précise que les faibles taux de germination des graines parvenues à maturité sont liés au poids des semences. De plus, il apparait que le poids moyen des semences caractérise chacune des provenances (figure 12). La provenance d'East Angus produit des semences 1,8 fois plus lourdes que celle des Escoumins. Généralement on observe pour toutes les provenances, à l'exception des Escoumins, une baisse significative du taux de germination des semences contenue dans les cônes dès leur ouverture (figure 10). Pour chercher à expliquer cette observation, une analyse de la variance a été réalisée sur le pourcentage de germination des semences disséminées et de celle restant dans les cônes. Aucune différence significative n'a été signalée entre ces deux groupes ($F = 0,56$; $p = 0,4653$).

Après 15 mois de conservation les semences matures n'ont pas perdu leur pouvoir germinatif (figure 10). Toutefois, les semences récoltées avant la maturité ont perdu entre 5 et 20 p. cent de leur valeur initiale. Les figures 13a et b illustrent respectivement des coupes longitudinales dans les semences immatures et matures après 15 mois de conservation. L'embryon de la semence immature couvre 75 p. cent de la cavité embryonnaire et le mégagamétophyte*, qui avait une consistance laiteuse lors de la récolte s'est rétréci pendant la conservation. Par comparaison, l'embryon mature couvre 90 p. cent de la longueur de la cavité embryonnaire et le son mégagamétophyte qui avait initialement un aspect pâteux est demeuré intact durant la conservation.

Enfin, les semences immatures ont présenté à plusieurs reprises des problèmes d'ordre phytosanitaires lors de leur germination. Ces agents pathogènes étaient rarement rencontrés avec les semences matures.

2.2 Indicateurs de maturité

La teneur en eau dans les cônes est corrélée aux autres critères de maturation (tableau 15). Toutefois, cette progression se fait graduellement en passant de 68 à 63 p. cent d'eau de sorte qu'une différence de 5 p. cent distingue la semence mature de la semence immature (figure 14). L'élimination soudaine de l'eau dans les cônes correspond à leur ouverture; elle indique que la dissémination des semences est vraisemblablement un phénomène purement biophysique*. Toutefois, le retrait de l'eau n'explique pas à lui seul ce phénomène puisque le séchage quasi complet des cônes au cours des premières semaines de récolte permettait difficilement l'ouverture des cônes. La quantité d'eau contenue dans les cônes influence grandement sur leur densité spécifique (figure 15 et tableau 5); dans le cas du cône parvenu à maturité, elle se situe autour de 0,99 g/L. Le suivi de la densité spécifique peut aussi s'exprimer par un test de flottaison des cônes dans une solution de méthanol (d = 0,93 g/L). La relation entre ces deux indicateurs est également très bonne (tableau 5). Toutefois, la réponse au test de flottaison par rapport à la maturation des semences d'épinette blanche est soudaine et survient à peine quelques jours avant l'ouverture des cônes (figure 16). La longueur de l'embryon est également liée de façon linéaire à la maturation des semences (tableau 5). La semence parvient à maturité lorsque l'embryon occupe 90 p. cent de la cavité embryonnaire (figure 13b et 17)

Les lots de semences de la provenance Les Escoumins ne réagissent pas de la même manière que ceux des autres provenances. En effet, la longueur embryonnaire de ces lots ne dépasse jamais 75 p. cent (figure 17) et le taux de flottaison des cônes n'atteint jamais le 100 p. cent contrairement aux cônes des autres provenances (figure 16). Les cônes se sont néanmoins ouverts durant la semaine du 5 septembre (figure 14) et le taux de germination n'excéde pas 35 p. cent. Ces résultats suggèrent que les graines de cette provenance furent disséminées avant même qu'elles n'aient atteint leur maturité.

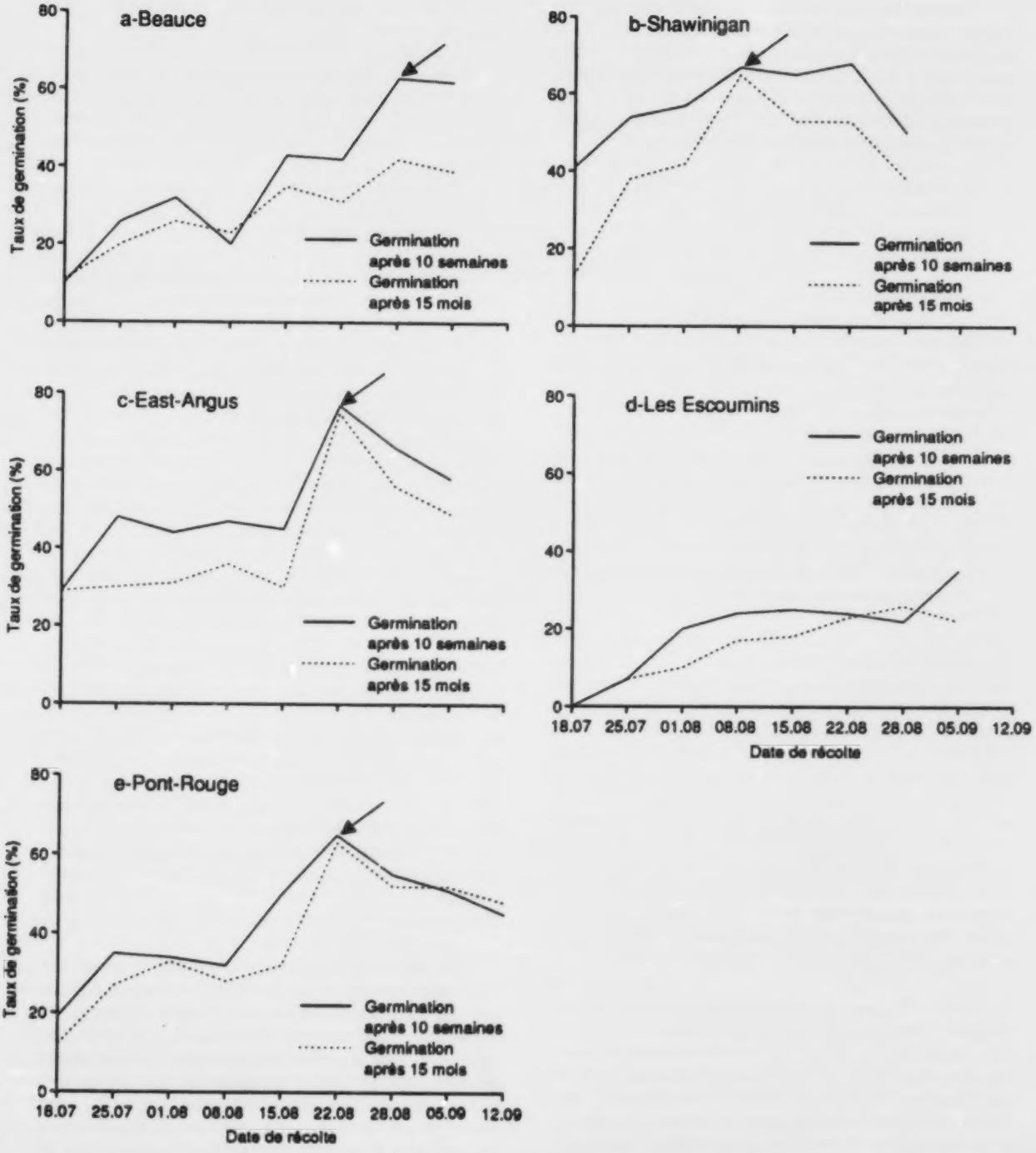

Figure 10. Taux de germination des semences d'épinette blanche à 8 semaines et à 15 mois de conservation pour chacune des provenances. Les flèches indiquent la date de maturité

Tableau 5. Coefficients de corrélation de Spearman entre le taux de germination, la flottaison, la teneur en eau, la longueur de l'embryon et la densité spécifique[1,2]

Variables	1	2	3	4	5
1. Taux de germination	1,0000	0,85244	– 0,92857	0,82886	– 0,85714
2. Flottaison (d = 0,93 g/l)		1,0000	– 0,81537	0,80405	– 0,86347
3. Teneur en eau du cône			1,0000	– 0,95499	0,92847
4. Longueur de l'embryon				1,0000	– 0,79334
5. Densité spécifique du cône					1,0000

[1] Niveau de signification $\alpha = 0,05$
[2] $n = 360$

3. Discussion

3.1 Maturité et taux de germination

Dans cette expérience, le taux de germination a servi à indiquer l'état de maturité des lots de semences. Toutefois, la germination des semences peut être influencée par un ensemble de facteurs autres que la maturation (CRAM et WORDEN 1957). Conséquemment, le taux de germination devrait être considéré comme un estimateur de la maturité et des mesures physiologiques devront servir à expliquer et à renforcer cet estimateur (Voir chapitre III).

Le poids des semences a joué un certain rôle sur nos résultats puisqu'il a influencé le taux de germination (figure 11). Cette variation est liée à la provenance (figure 12) et semble être due à des causes génétiques ou environnementales encore mal connues (WANG 1978; CARON *et al.* 1990). Néanmoins, le poids des semences ne serait pas la cause directe du taux de viabilité des plus petites semences. En fait, il est probable que la technique de triage utilisée en est la cause. À vélocité égale, il est plus difficile d'éliminer les graines vides lorsque le poids moyen des semences du lot est faible. En ce sens, OWENS et MOLDER (1984) montrent que les semences de provenances de hautes altitudes ou de hautes latitudes sont généralement plus petites. Ainsi, il aurait vraisemblablement été possible d'accroître les taux de germination de la provenances des Escoumins en ajustant la vélocité en fonction du poids des semences.

3.2 Dissémination des semences immatures

Toutes les semences ne parviennent pas nécessairement à maturité (ZASADA 1988). Deux facteurs peuvent expliquer ce phénomène. D'une part, les composantes nutritionnelles peuvent être insuffisantes à la fin de la saison pour permettre le développement complet de l'embryon. Ce phénomène est délicat à vérifier puisqu'il est difficile de faire la différence entre une semence qui n'est pas parvenue à une maturité physiologique et une semence dormante. D'autre part, l'embryon peut manquer de temps pour terminer sa croissance morphologique et être ainsi disséminé avant d'être parvenu à maturité. Le cas des semences de la provenance Les Escoumins ressemblerait davantage à ce deuxième phénomène. Ceci laisse croire que la récolte de cônes d'épinette blanche dans les régions nordiques mérite une attention particulière afin de ne pas consacrer d'énergie à la production de semences qui n'atteindront jamais la maturité pour des raisons climatiques. Il serait donc primordial dans un programme de récolte de cônes de tenir compte d'indicateurs climatiques comme les degrés-jours ou les unités thermiques.

3.3 Qualité des semences demeurant dans les cônes ouverts

La plupart des graines d'épinette blanche se dispersent en quelques semaines mais une petite quantité demeure dans les cônes presque toute l'année (ROWE 1953; MORIN 1986). Il semble que les semences qui demeurent durant l'automne dans les cônes perdent rapidement leur viabilité (MORIN 1986). La diminution du taux de germination des semences restant dans les cônes après leur ouverture aurait pu s'expliquer par la dissémination des semences matures ou viables au moment de l'ouverture des cônes pour ne laisser graduellement dans ces derniers que des graines vides ou immatures. Toutefois, l'absence de différence significative enregistrée entre les semences d'épinette blanche demeurant dans les cônes et celles disséminées après l'ouverture des cônes va à l'encontre de cette hypothèse. Ces résultats sont d'autant plus paradoxaux qu'il est nécessaire de maintenir les semences dans les cônes durant toute la post-maturation. En fait, il est probable que les semences peuvent poursuivre leur post-maturation à l'extérieur des cônes mais que leur état avancé de

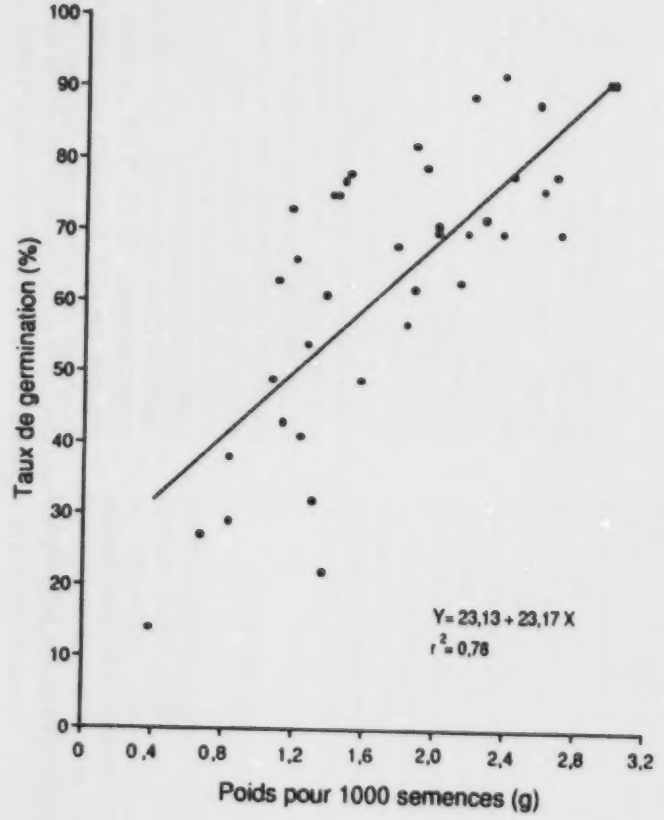

Figure 11. Régression linéaire représentant la relation entre le poids pour 1 000 semences et leur taux de germination

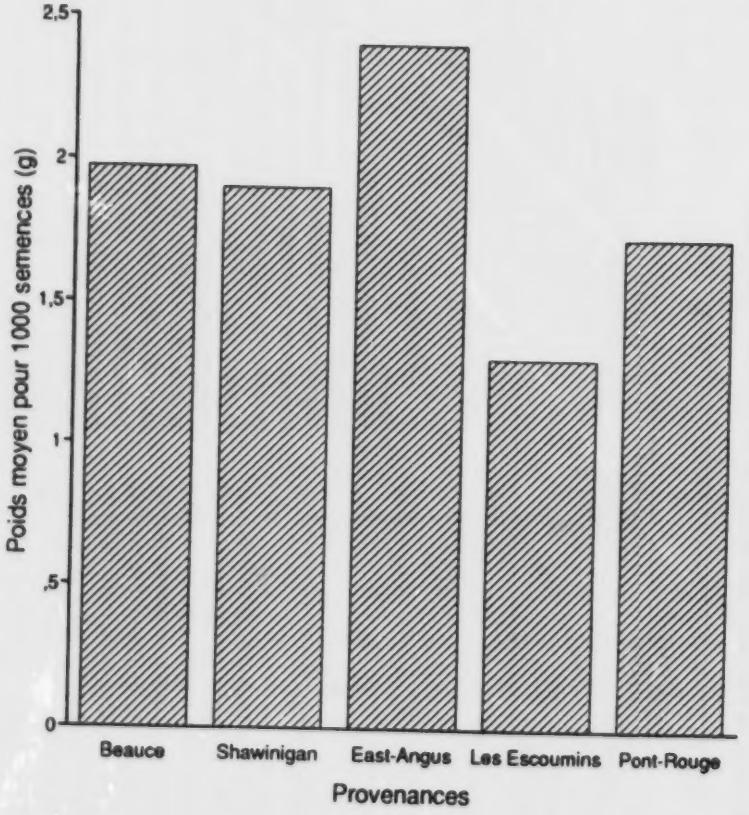

Figure 12. Poids moyen pour 1 000 semences pour chacune des provenances

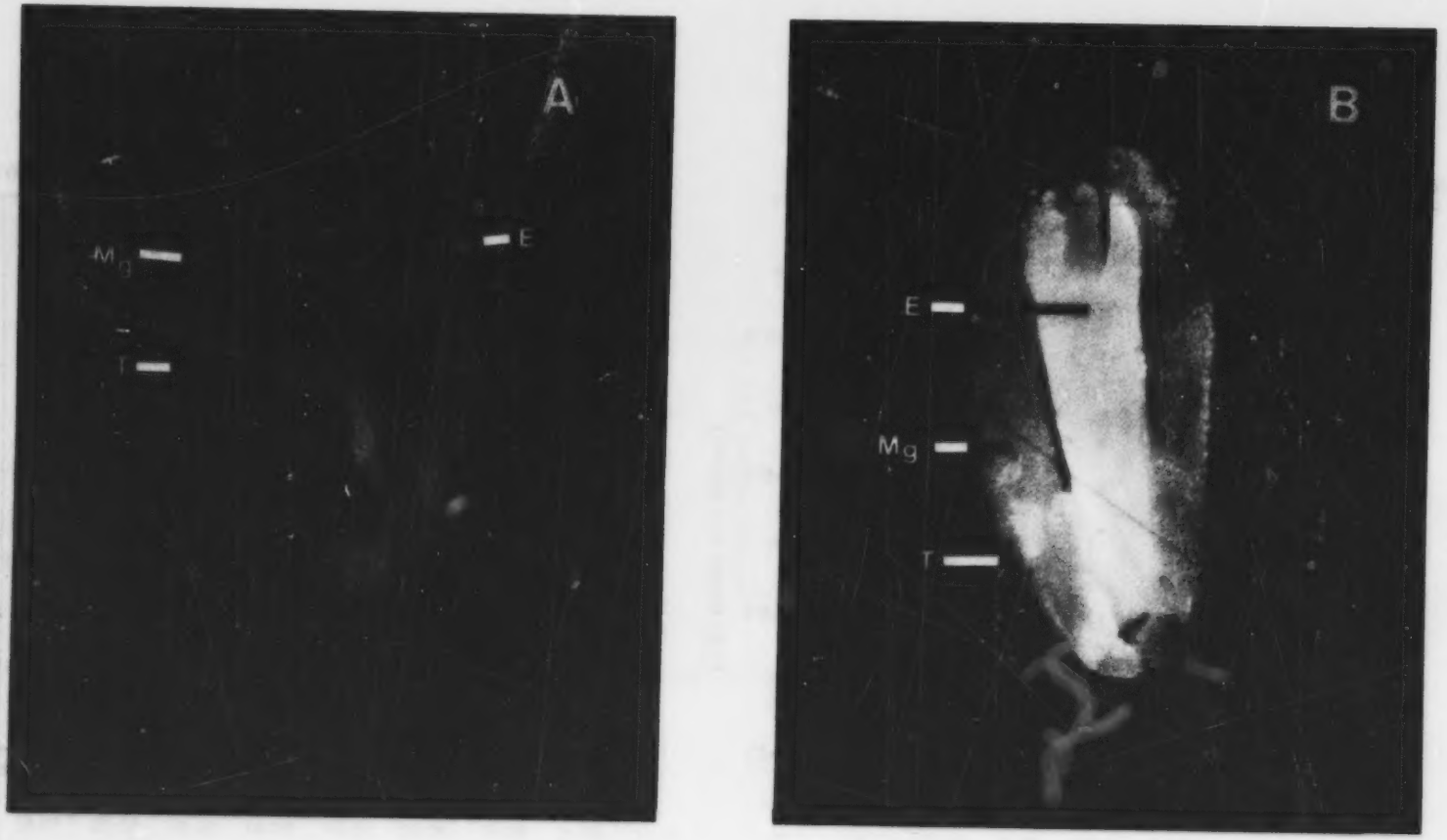

Figure 13. Coupe longitudinale d'une semence d'épinette blanche de la provenance de Pont-Rouge après 15 mois de conservation : a) trois semaines avant la maturité; b) à la maturité. Les symboles représentent l'embryon (E), le mégagamétophyte (Mg) et le tégument* (T). Grossissement 50X.

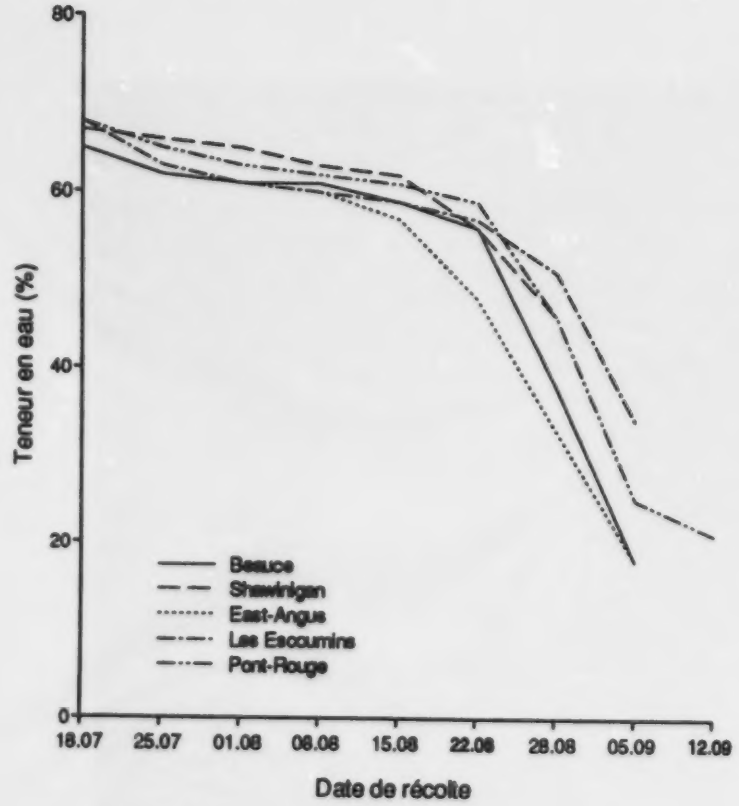

Figure 14. Progression de la teneur en eau dans les cônes d'épinette blanche en fonction de leur date de récolte

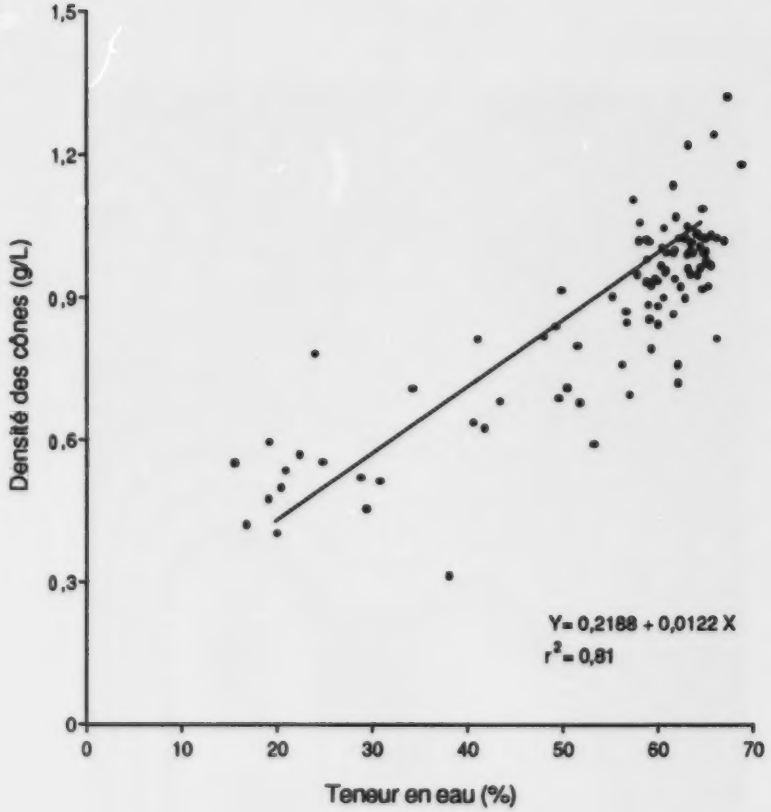

Figure 15. Régression linéaire représentant la relation existant entre la teneur en eau des cônes et leur densité spécifique

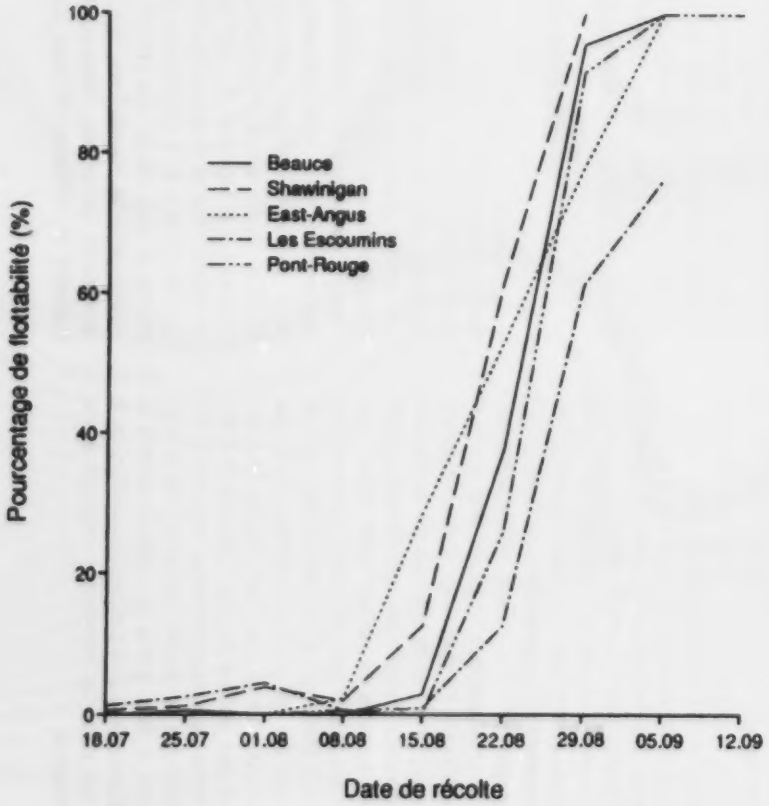

Figure 16. Progression du taux de flottaison des cônes d'épinette blanche dans du méthanol dilué (d = 0,93 g/L) en fonction de la date de récolte

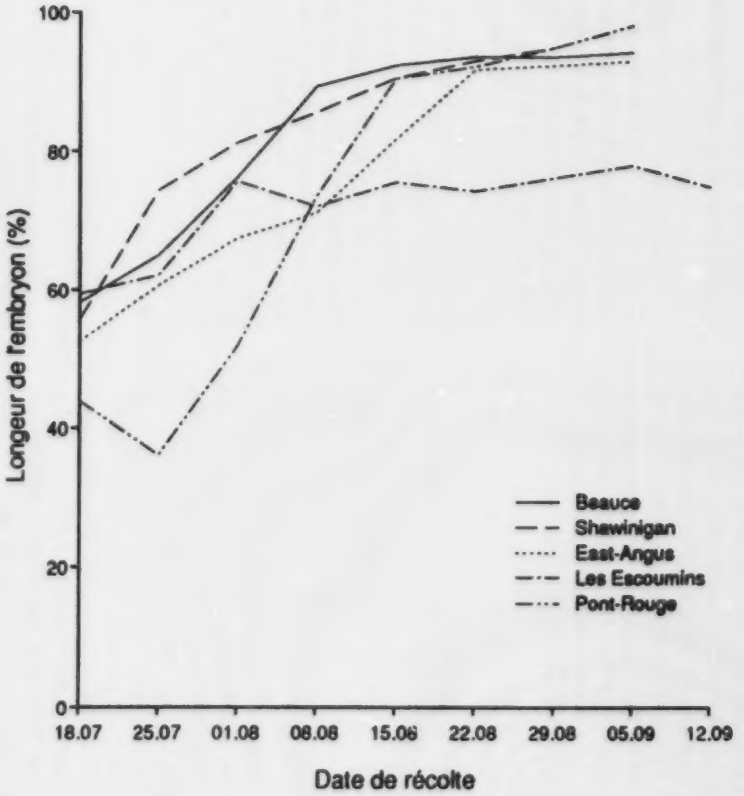

Figure 17. Progression de la longueur de l'embryon d'épinette blanche en fonction de la date de récolte des cônes

développement ne leur permet pas de supporter les stress physiques et thermiques infligés par les traitements d'extraction. Quoi qu'il en soit, cette problématique subsiste toujours et mérite d'être approfondie ultérieurement. Par conséquent, la récolte de cônes sur le parterre reste toujours possible puisque la perte de qualité de ces semences est égale à celles des graines restant sur l'arbre, bien que cette opération augmente néanmoins les coûts de nettoyage (YOUNG et YOUNG 1986).

3.4 Récolte et conservation des semences matures et immatures

Pour certains auteurs, la récolte de semences parvenues à maturité aura comme résultat une plus grande germination des semences (CRAM et WORDEN 1957; YOUNG et YOUNG 1986; MORISSETTE et GRENIER 1987; ZASADA 1988) et une meilleure croissance des plants (OLSEN et SILEN 1975). Pour d'autres, il est possible de récolter les cônes beaucoup plus tôt que prévu à condition qu'ils soient entreposés durant une période minimale de 9 semaines avant d'être traités en usine (WINSTON et HADDON 1981; WANG 1986). Toutefois, il devient difficile de forcer l'ouverture des cônes immatures en usine (LAMONTAGNE et FRENET 1972; Smith 1983), de trier les semences adéquates (MARCOTTE *et al*. 1986), de les conserver (MULLER 1974; YOUNG et YOUNG 1986), et de contrôler l'état phytosanitaire durant la germination. Selon WINSTON et HADDON (1981), la croissance de l'embryon doit être terminée avant qu'un mûrissement artificiel ne puisse leur être appliqué avec succès. En ce sens, il semble que les embryons des épinettes blanches du Québec finalisent leur développement morphologique à peine une semaine avant l'ouverture des cônes. Cette constatation sous entend que les maturités morphologiques et physiologiques des embryons évoluent en même temps et que par conséquent, elles ne permettent pas de récolter les semences plus d'une ou deux semaines avant l'ouverture des cônes. Cette remarque est largement supporté par le fait que les semences récoltées hors de cette période perdent de leur viabilité après seulement 15 mois de conservation (figure 10). La simple observation d'une coupe longitudinale d'une graine immature 3 semaines avant la maturité montre que les réserves du mégagamétophyte n'ont pas atteint leur plein potentiel et que dans ce cas, la post-maturation n'est pas suffisante pour combler la différence. Ainsi, le faible taux de germination engendré dès la première année par la récolte de semences immatures, additionné à leur perte de vitalité durant la conservation, a provoqué un écart de plus de 40 p. cent dans certains cas entre les semences matures et les semences immatures.

3.5 Indicateurs de maturité

3.5.1 Teneur en eau dans les cônes

La teneur en eau des cônes passe pour être un bon indicateur de maturité même si certaines variations s'expliquent par des changements climatiques comme l'ensoleillement et les précipitations (CRAM et WORDEN 1957; Beauchesne 1985). Quant à l'ouverture des cônes, elle est un phénomène purement biophysique qui ne semble pas avoir de rapport direct avec la physiologie de la maturation. En fait, ce phénomène serait sous la dépendance de la chaleur qui accélèrait plus ou moins le retrait de l'eau dans les cônes. Ainsi, il existerait un lien indirect entre la teneur en eau dans les cônes et l'accumulation de la température ou l'ensoleillement. Même si la teneur en eau dans les cônes reflète assez bien l'état d'avancement de la maturation ($r_s = -0,93$), il n'en demeure pas moins que cet indice est plus ou moins pratique compte tenu du faible écart qui permet de séparer des cônes matures et des cônes immatures et du délai plutôt long entre le début de l'échantillonnage et la réaction; entre 24 et 48 heures.

3.5.2 Densité spécifique des cônes

La forte corrélation reliant la densité spécifique à la teneur en eau a été démontrée à quelques reprises avec un $r^2 = 0,98$ (CRAM et WORDEN 1957; BARNETT 1979). Toutefois, comme pour la teneur en eau de la densité spécifique enregistre des variations qui sont causées par des changements climatiques et l'écart de densité entre les cônes matures et immatures est également faible. Néanmoins l'obtention de la réponse est rapide, de l'ordre de quelques minutes.

3.5.3 Flottaison des cônes

La densité du liquide dans les tests de flottaison réalisés dans cette étude fut établie en fonction de la densité spécifique déterminée par MORISSETTE et GRENIER (1987) pour les peuplements québécois d'épinette blanche. Antérieurement, les tests de flottaison étaient réalisés à partir de liquides commerciaux comme la térébenthine ou le kérosène. Puisque ces produits se sont avérés peu efficaces, il devenait plus adéquat d'ajuster, par un mélange de deux liquides, la densité correspondant à celle des cônes matures. La réponse du test de flottaison dans le méthanol dilué se révèle à toute fin pratique aussi fiable que les deux autres indicateurs précédent (tableau 5), même si son usage est effectif seulement sur une courte période puisqu'il est rapide et permet de trier facilement les cônes matures (figure 16). Souvent, maturité et déhiscence* des cônes surviennent au

même moment (YOUNG et YOUNG 1986). Toutefois, la plupart du temps l'optimum de maturité est atteint environ une semaine avant le début de la dissémination (STIELL 1981), ce qui correspond visiblement au début de la flottaison des cônes (r_s = 0,85). Certains auteurs pensent que la période optimale pour récolter les cônes débute avec la maturité (CRAM 1956; MORISSETTE et GRENIER 1987). Idéalement, il serait souhaitable qu'il en soit ainsi. Toutefois, le temps pour récolter plusieurs hectolitres de cônes ne se calcule pas en termes de jours mais plutôt de semaines. L'information fournie par le test de flottaison est plus ou moins utile pour permettre d'organiser une récolte abondante. Cependant elle demeure pertinente parce que les cueilleurs sont intéressés à prévoir le moment d'ouverture des cônes pour gérer la vitesse des récoltes (figures 14 et 16). L'alcool peut diminuer rapidement la viabilité des semences si ces dernières y sont laissées en sa présence durant plus d'une minute (résultats non publiés). En conséquence, il est recommandé de ne pas utiliser les semences issues des cônes qui ont servis au test de flottaison.

3.5.4 Longueur de l'embryon

La consistance du mégagamétophyte et les dimensions de l'embryon par rapport à la cavité embryonnaire demeurent parmi les critères les plus fiables et les plus pratiques. La consistance du mégagamétophyte passe du stade laiteux au stade pâteux lorsque la semence devient mature. La longueur de l'embryon mature semble être très variable d'un territoire à l'autre. Elle oscille entre 75 p. cent (ARISMAN 1984) et 95 p. cent (ZASADA 1988). Ce dernier auteur pense que la longueur potentielle de l'embryon est inversement proportionnelle avec la latitude ou l'altitude où se situe le peuplement. Même à 75 p. cent de longueur, les embryons de la provenance nordique Les Escoumins ne montrent pas les caractéristiques de la maturité. Évidemment, la longueur de l'embryon n'explique pas à elle seule le stade de maturation de la semence. ARISMAN (1984) a trouvé de faibles taux de germination avec des lots de semences dont l'embryon avait atteint la longueur maximale.

Somme toute, les semences arrivent à maturité à peine quelques jours avant la dissémination et il paraît avantageux de cueillir les cônes lorsque les semences ont atteint cette maturité. En effet le taux de germination, même avec une post-maturation de 10 semaines, est supérieur et la conservation après 15 mois permet de maintenir relativement bien cette vitalité. Quant aux différents indicateurs de maturité retenus dans cette étude, ils sont suffisamment efficaces pour localiser la période de maturité des semences d'épinette blanche. Toutefois ils ne permettent pas de prédire suffisamment à l'avance la période de récolte et ils impliquent un échantillonnage régulier pour vérifier l'état d'avancement de la maturation. Parmi les indicateurs retenus, il ressort que la mesure de la longueur de l'embryon et le test de flottaison sont les deux critères les plus opérationnels à privilégier pour localiser la période adéquate de récolte des semences d'épinette blanche au Québec. Toutefois, pour prédire quelques semaines au préalable le moment le plus opportun pour débuter la récolte, il apparaît nécessaire d'explorer d'autres critères comme les conditions environnementales, la phénologie des plantes indicatrices et les variables physiologiques.

Chapitre III

Physiologie de la maturation

Nos connaissances sur la biochimie et la physiologie du développement des semences sont très fragmentaires (BEWLEY et BLACK 1985), tout particulièrement en ce qui a trait aux phases qui entourent la maturation des semences. En effet, même si quelques chercheurs se sont intéressés dans le passé à la physiologie de la maturation des semences d'arbres forestiers (REDISKE 1961, 1969; JENSEN *et al.* 1967a, b; REDISKE et NICHOLSON 1965), il n'en demeure pas moins que la maturation est plus ou moins bien définie dans la littérature. En fait, elle est souvent associée à l'arrivée d'événements comme la stabilisation des réserves nutritives dans le mégagamétophyte, une forte dessiccation de la semence et une stabilisation de la croissance morphologique de l'embryon (QUATRANO 1987). La maturation peut être considérée comme l'étape transitoire entre l'embryogénèse*, considérée comme le développement de l'embryon jusqu'à la formation de toutes ses structures morphologiques (SINGH 1978), et le début de la période de dormance ou de latence* avant la germination. Chez certaines semences résineuses, il est même nécessaire d'ajouter, à la suite de la maturation, une phase de post-maturation des cônes après leur récolte (WANG *et al.* 1982).

Les semences d'épinette blanche, comme celles de la plupart des essences résineuses, sont de type lipidique, c'est-à-dire que leur principale source de réserves nutritives est sous forme d'acides gras (MIROV 1944; PULLIAINEN et LAJUNEN 1984) et de protéines* (JOHNSON *et al.* 1987; GIFFORD 1988; MISRA et GREEN 1990), par opposition aux semences amylacées dont les réserves sont principalement des sucres (RAYMOND 1988). Or, on a démontré que les lipides totaux de ce genre de graines augmentent durant la maturation (REDISKE et NICHOLSON 1965) et que le contenu en glucides totaux diminue (REDISKE 1961; 1969, JENSEN *et al.* 1967b). Toutefois, le suivi systématique de tous les glucides et la relation entre ces derniers et les activités respiratoires et métaboliques n'ont jamais été réalisés durant la maturation. Par ailleurs, il est bien connu qu'une augmentation du niveau de l'acide abscissique (ABA) endogène stimule les phases de germination pour l'ensemble des plantes utilisées en agronomie (QUATRANO 1987; LE PAGE-DEGIVRY et BULARD 1988). Cependant la dynamique de l'ABA durant les différentes phases de maturation est encore mal définie et l'entrée en dormance des graines d'arbres résineux reste encore spéculative.

Les deux premiers objectifs de cette étude visent à préciser le comportement des glucides, des nucléotides et de l'acide abscissique durant la maturation et à vérifier si elles permettent de faire ressortir l'existence de phases bien précises. Le troisième objectif vise à identifier les composés qui pourraient servir d'indicateurs pour prédire la date de maturité et de récolte des cônes.

1. Matériel et méthodes

1.1 Récolte et préparation des semences

Environ 100 cônes par arbre furent récoltés chaque semaine entre le 18 juillet et le 12 septembre 1989 sur 8 arbres de la provenance de Pont-Rouge (tableau 1). De ce nombre, 75 cônes par arbre (épinette) ont servi aux analyses des composés physiologiques. Dès leur récolte, ces cônes étaient trempés dans l'azote liquide puis lyophilisés* à – 65° C pour bloquer les processus physiologiques en cours et permettre l'extraction et le désallage des semences à froid. Les graines nettoyées ont été conservées au congélateur à – 30° C. Les 25 autres cônes par arbre par récolte ont servi à déterminer le taux de germination de chaque lot.

Les semences servant aux test de germination ont été extraites après 10 semaines d'entreposage dans les cônes dans un séchoir à air libre et séchées durant 8 heures à 53° C. L'extraction des semences s'est faite par brassage mécanique des cônes dans des sacs de papier. Le désallage des graines a été obtenu par frottement mécanique des semences entre elles dans un sac de coton. Le nettoyage final a été réalisé au moyen d'une souffleuse à graines dont la vélocité était constante pour tous les lots de semences.

1.2 Tests de germination

Le taux de germination, exprimé au pourcentage et utilisé pour mesurer l'état de maturité, a été réalisé selon les recommandations de l'ISTA (1985). Les tests étaient menés dans des plats de germination[1] avec un substrat humide (*Kimpak*[1]) supporté par une grille sous laquelle il y avait un réservoir d'eau ozonisée. Quatre groupes de 100 semences de chaque lot étaient placées dans les plats après une stratification de 3 semaines à 4° C. Les plats de germination ont été placés dans un germoir (*Conviron G-30*[1]) avec une alternance de 8 heures de lumière à 30° C et 16 heures d'obscurité à 20° C durant 21 jours. Les semences étaient considérées comme germées lorsque les cotylédons devenaient visibles.

1.3 Analyse des composés physiologiques

Toutes les techniques d'analyse employées dans cette étude sont décrites en détails dans Veilleux *et al.* (1991)

Les extractions et le dosage* des concentrations de l'adénosine tri-phosphate (ATP), di-phosphate (ADP) et mono-phosphate (AMP) ont été réalisés selon la technique de bioluminescence par l'interaction du système luciférine-luciférase.

L'activité respiratoire a été évaluée à l'aide de la relation de SAGLIO *et al.* (1984):

$$[7]\quad K_{resp} = \frac{[ATP] \times 100}{[ADP]}.$$

L'activité enzymatique de l'adénylate kinase a été calculée à partir de la formule de RAYMOND (1988) :

$$[8]\quad K_{adék} = \frac{[ATP] \times [AMP]}{[ADP]^2} \times 100,$$

et la charge énergétique, estimée selon le concept établi par Bidwell (1979) :

$$[9]\quad CE = \frac{[ATP] + 0{,}5[ADP]}{[ATP] + [ADP] + [AMP]} \times 100.$$

Les dosages des glucides solubles, des polyols et des acides organiques ont été effectués par chromatographie en phase gazeuse après une extraction à l'alcool chaud. L'amidon a été évalué à partir des résidus d'extraction des sucres solubles et dosé en équivalent glucose à l'aide d'un spectrophotomètre. L'extraction, la purification et le dosage de l'acide abscissique libre et total ont été réalisés par radioimmunologie.

1.4 Traitement des données

La normalisation de tous les résultats a été validée préalablement et les intervalles de confiance représentés dans les figures ont un niveau de signification de 5 p. cent.

Dans tous les cas, les concentrations par masse sèche des semences de chacun des huit arbres ont été pondérées en fonction du nombre de semences afin d'homogénéiser les résultats et le moyennes ont été déterminées avec un rapport estimateur-quotient (COCHRAN 1977).

2. Résultats

2.1 Période de maturité

Les semences ont atteint leur pleine maturité au cours de la semaine du 22 août avec un taux moyen de germination de 74 p. cent (figure 18). À cette période, les embryons occupaient 90 p. cent de la longueur de la cavité embryonnaire. Les cônes se sont ouverts à peine quelques jours après que les semences eurent atteint leur maturité.

2.2 Respiration et activité métabolique

La respiration ainsi que l'activité de l'adénylate kinase sont élevées durant la phase de « pré-maturité » (ou nonaison) et augmentent jusqu'à des valeurs de 281 et 218 p. cent respectivement (figure 19). Ces indications révèlent qu'il se produit plus d'ATP qu'il ne s'en consomme au cours de cette période. La forte diminution du rapport ATP/ADP de la respiration suggère que la consommation d'ATP est très active au cours de la semaine qui précède la maturité, c'est-à-dire entre le 15 et le 22 août. Par la suite, l'activité respiratoire et l'activité enzymatique de l'adénylate kinase demeurent faibles et stables à des niveaux moyens inférieurs à 50 p. cent.

---

1 Voir p. 5.

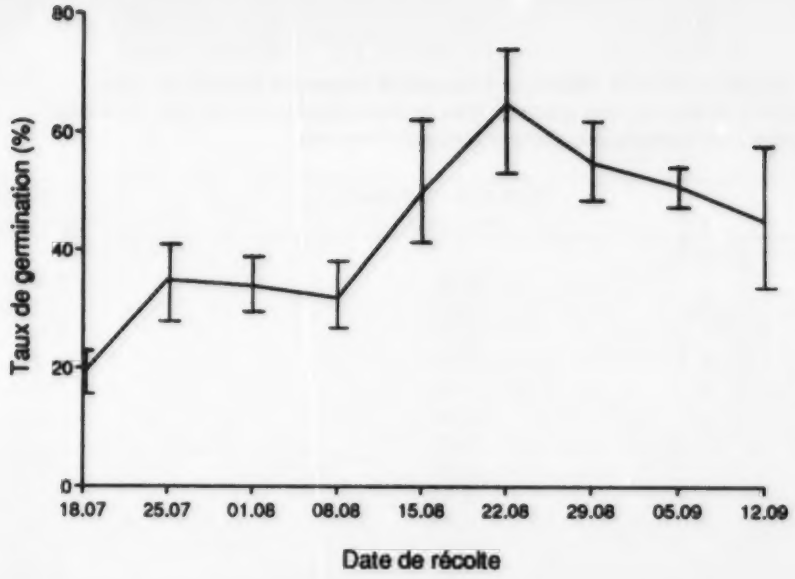

Figure 18. Taux de germination des semences d'épinette blanche de la provenance de Pont-Rouge en fonction de la date de récolte des cônes

Quant à elle, la charge énergétique joue sur deux paliers (figure 20). Le premier se situe à la période de pré-maturation alors que la charge énergétique tourne autour de 73 p. cent. Puis, lorsque la maturité morphologique survient, la charge énergétique diminue brusquement et passe à un niveau moyen de 48 p. cent.

2.3 Glucides, polyols et acides organiques

La chromatographie en phase gazeuse des glucides et des polyols révèle trente-cinq pics parmi lesquels une vingtaine demeurent des inconnus. Les temps de rétention et la quantité moyenne par masse sèche pour chacun des pics sont présentés au tableau 6. Dans cette étude, seuls les inconnus présentant des dynamiques suffisamment intéressantes au cours de la période de maturation ont été retenus (A_I, F_I, L_I, M_I et T_I) même si d'autres inconnus, comme le R_I, sont présents en quantité importante dans les semences d'épinette blanche.

Les concentrations totales du glucose et du fructose diminuent très fortement durant la semaine du 18 juillet pour se maintenir à un niveau relativement stable après cette date (figure 21a et b). La concentration du saccharose augmente significativement pendant la semaine du 18 juillet pour diminuer durant la maturation jusqu'à atteindre un niveau stable à la maturité (figure 21c). La présence du tréhalose et de l'amidon est discrète dans la semence avec des concentrations inférieures à 9 et à 20 $\mu g \cdot g\ sec^{-1}$ · semence respectivement (figure 21 c et f). Toutefois, la teneur en amidon diminue significativement au moment de la maturité. Seul le raffinose augmente alors qu'il passe d'une valeur presque nulle au début de la maturation à près de 150 $\mu g \cdot g\ sec^{-1}$ · semence lors de dernière récolte (figure 21). La progression du mannitol et de l'inositol est plus ou moins régulière et stable durant la maturation (figure 22). Toutefois, le mannitol disparaît rapidement à la maturité pour augmenter rapidement durant la post-maturation et atteindre près de 12 $\mu g \cdot g\ sec^{-1}$ · semence. La progression du pinitol, du sequoyitol, de l'acide shikimique et de l'acide quinique

Tableau 6. Nomenclature, temps de rétention et quantité moyenne sous la courbe des glucides solubles, des polyols, des acides organiques et des inconnus dosés dans une semence mature d'épinette blanche

Nom	Temps de rétention (minutes)	Quantité (g/mg sec)
Acide shikimique	3,68	0,073
A_i	3,84	0,153
α-fructose	3,97	0,237
ß-fructose	4,05	0,758
Fructose	4,18	2,635
Pinitol	4,34	0,318
Acide quinique	4,60	0,316
α-glucose	4,97	1,477
Séquoyitol	6,05	0,111
ß-glucose	6,28	1,367
Mannitol	5,71	0,039
Inositol	7,92	0,493
B_i	9,21	0,776
C_i	9,37	1,662
D_1	9,58	0,522
E_i	9,73	1,069
F_i	9,86	0,775
G_i	9,97	1,656
H_i	10,03	1,026
L_i	10,23	1,156
J_i	10,32	0,414
K_i	10,34	0,710
Saccharose	11,69	5,767
Tréhalose	12,10	0,289
L_i	12,54	1,395
N_i	12,54	1,395
M_i	12,38	0,416
O_i	12,64	1,200
P_i	12,68	0,684
Q_i	12,94	0,263
R_i	13,01	6,340
S_i	13,39	0,153
T_i	15,71	0,300
Raffinose	16,08	1,760
L_x	19,94	0,014

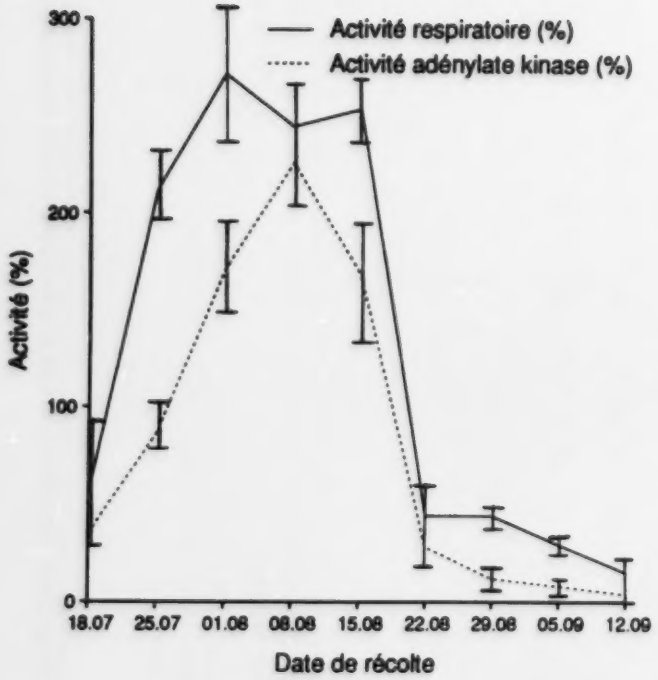

Figure 19. Progression de l'activité respiratoire et de l'activité de l'adénylate kinase au cours de la maturation des semences d'épinette blanche

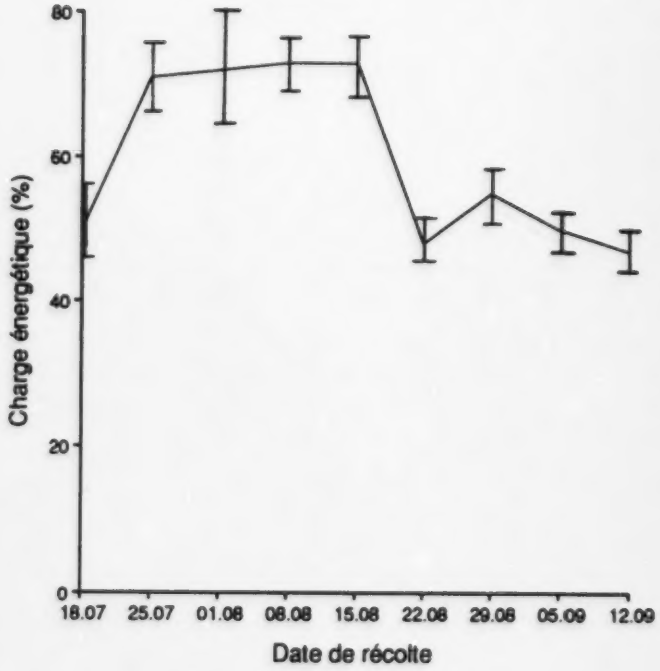

Figure 20. Progression de la charge énergétique des semences d'épinette blanche au cours de leur maturation

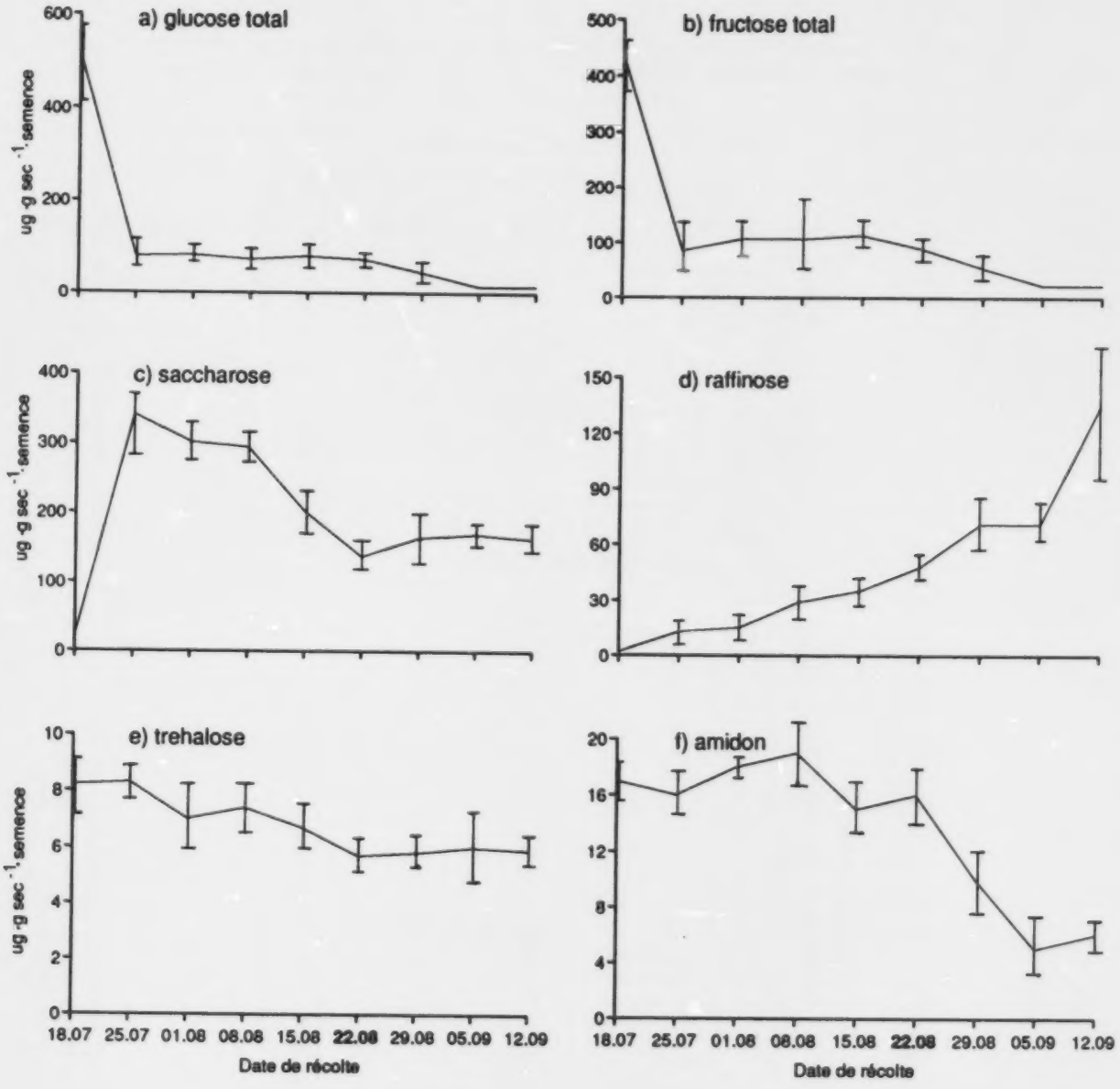

Figure 21. Progression des glucides dans les semences d'épinette blanche au cours de la maturation

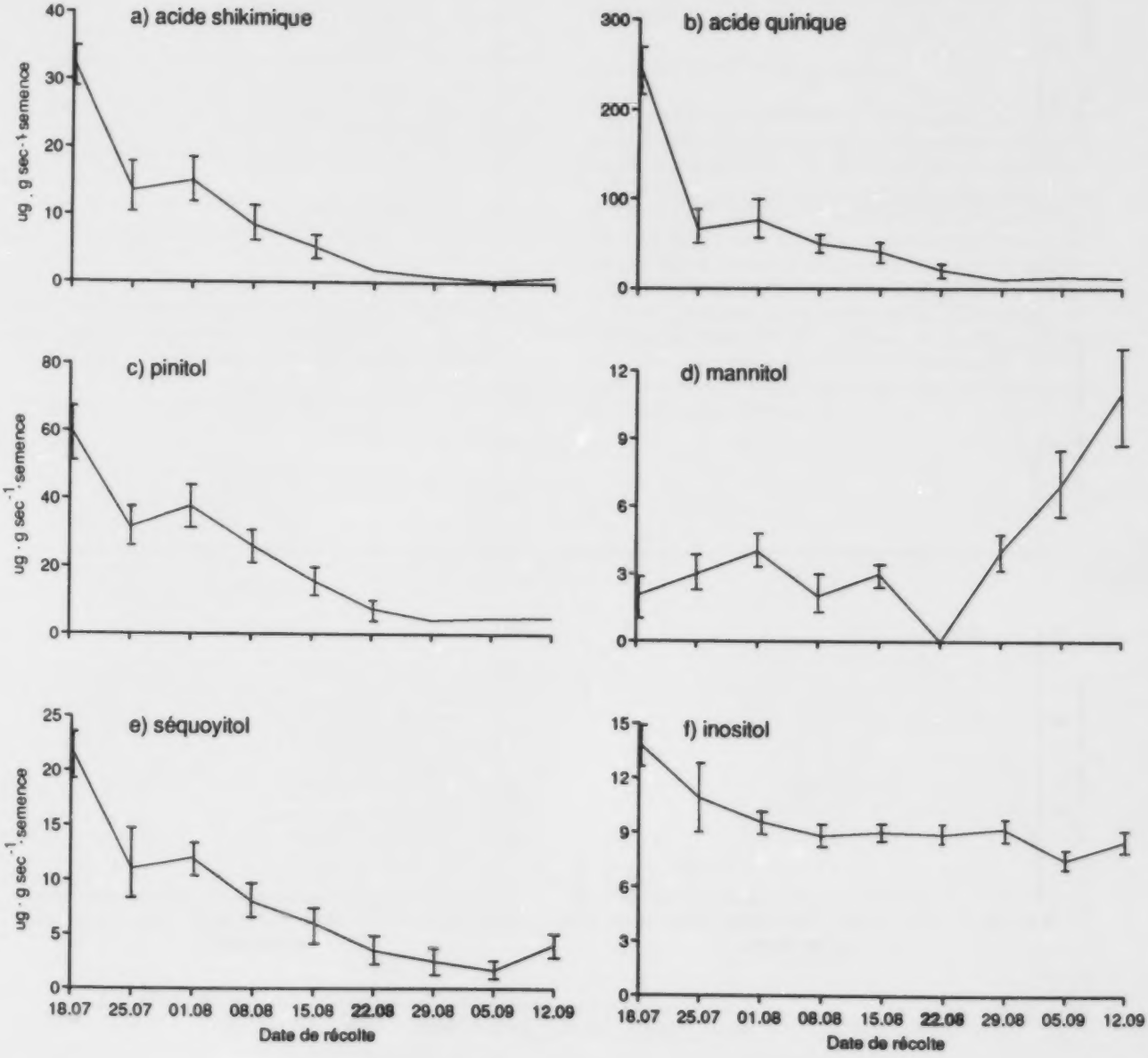

Figure 22. Progression des acides shikimique et quinique et des polyols dans les semences d'épinette blanche au cours de la maturation

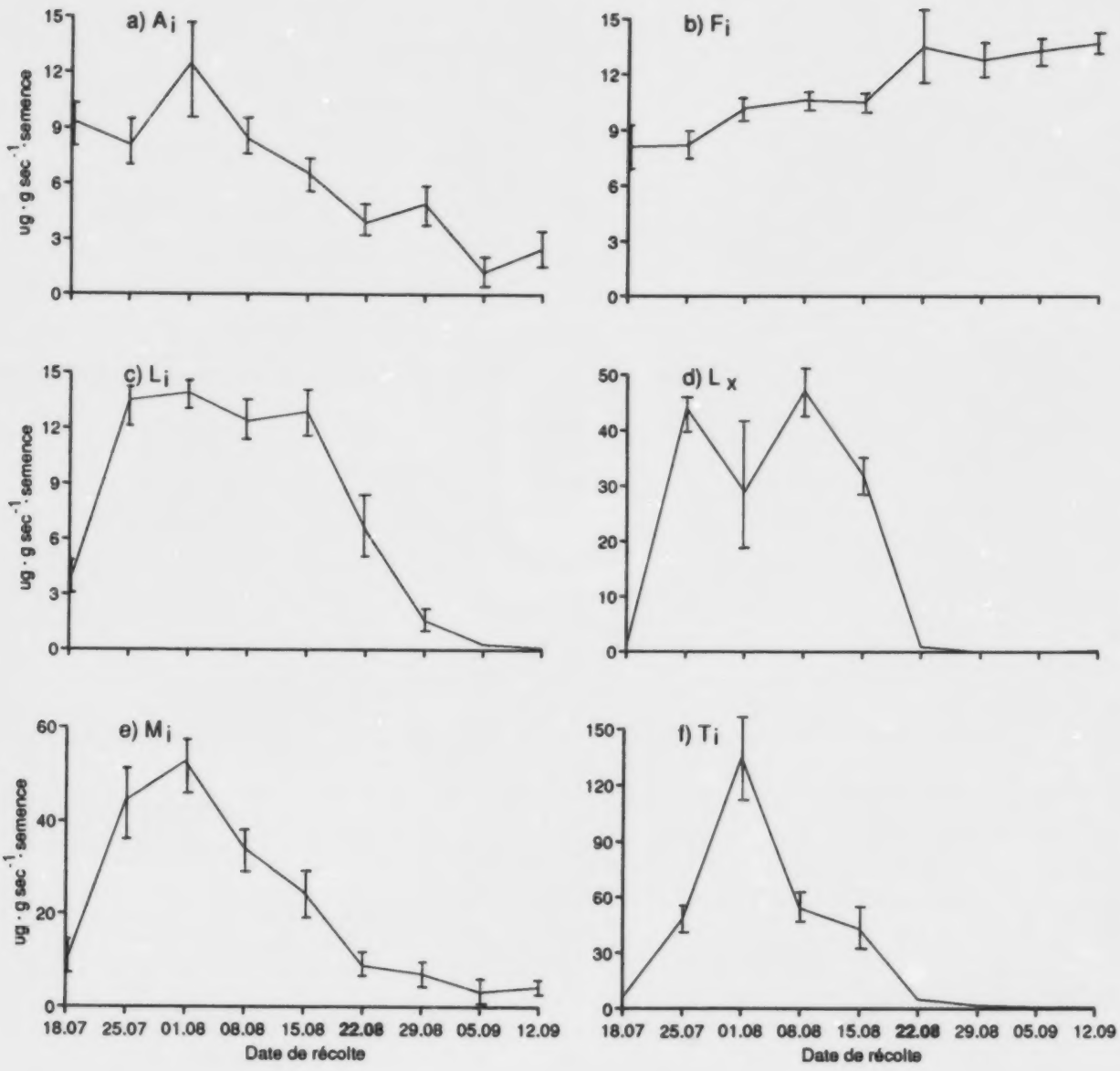

Figure 23. Progression de composés inconnus d'origine glucidique dans les semences d'épinette blanche au cours de la maturation

diminue rapidement au cours de la semaine du 18 juillet pour ensuite diminuer plus progressivement au cours de la maturation (figure 22). La concentration du composé inconnu A_i baisse plus ou moins régulièrement durant la période de maturation (figure 23a). Le composé F augmente légèrement durant cette même période en passant de 9 à 14 $\mu g \cdot g\ sec^{-1}$ · semence (figure 23b). Une augmentation rapide et intense est observée pour les composés L_i et L_x au cours de la première semaine d'étude et au cours des deux premières semaines pour les composés M_i et T_i (figures 23c à f). On peut remarquer par ailleurs la forte réduction du L_i, L_x, M_i et T_i une ou deux semaines, selon le cas, avant la maturité. Cette dernière est caractérisée par l'absence quasi complète de ces derniers composés.

2.4 Acide abscissique libre et total

L'acide abscissique libre et total présente deux niveaux de concentration élevée durant la maturation (figure 24). Le premier pic apparaît dès la première semaine de récolte avec les valeurs respectives de 4,1 et 6,9 $\mu g \cdot g\ sec^{-1}$ · semence pour l'ABA libre et total respectivement. Ces concentrations diminuent progressivement au cours de la maturation pour atteindre des valeurs deux fois moins élevées à la maturité. Au cours de cette dernière période, l'ABA conjugué, déterminé par la différence entre l'ABA total de l'ABA libre, se dégrade graduellement. À la maturité, les concentrations d'ABA libre et total augmentent pour atteindre un plateau après deux semaines (3,9 et 9,9 $\mu g \cdot g\ sec^{-1}$ · semence respectivement) et montrent en fait qu'il se produit une grande synthèse d'ABA conjugué.

2.5 Dynamique des composés

Il existe une dynamique particulière lors de la première semaine de récolte, un peu comme si cette phase correspondait à la fin d'une étape importante dans le développement de l'embryon; probablement la fin de l'embryogenèse. Plusieurs composés, comme le glucose, le fructose, le pinitol, le séquoyitol, les acides shikimique et quinique diminuent leur concentration respective entre deux et quatre fois au cours de la première semaine d'échantillonnage. À l'inverse, la respiration, l'activité métabolique, le saccharose et tous les composés inconnus à l'exception du F_i augmentent de deux à cinq fois leur concentration durant cette courte période.

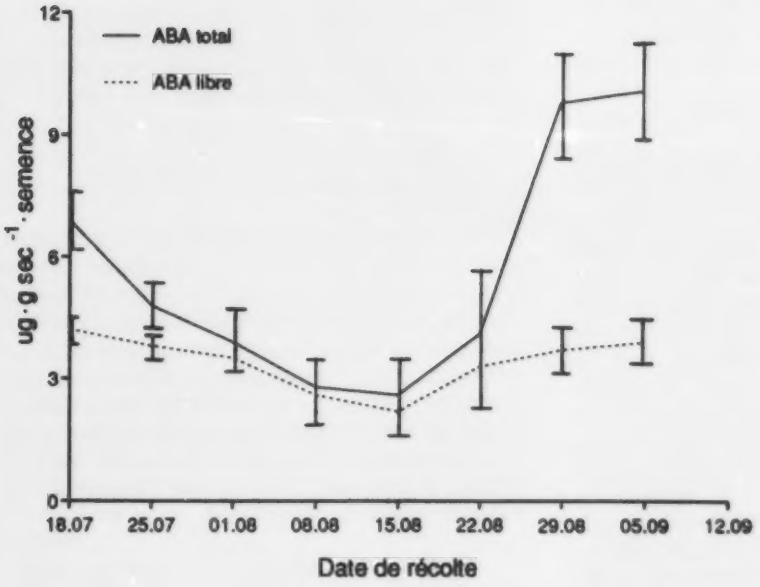

Figure 24. Progression de l'acide abscissique libre et total des semences d'épinette blanche au cours de leur maturation

3. Discussion

3.1 Identification de la période de maturité

La majorité des études sur la maturation des semences de gymnospermes utilisent la progression du taux de germination pour indiquer l'état de maturité des semences. Toutefois, ce seul indicateur ne permet pas de définir les vrais caractéristiques d'une semence mature puisqu'elles sont certainement liées à un ensemble de variables morphologiques et physiologiques. Ces dernières sont d'autant plus difficiles à déterminer que la composition biochimique et la quantité de ces produits dans les semences peuvent varier selon les provenances, les races et même les individus (HATANO et ASAKAWA 1964). En effet, on a maintes fois démontré que la période de maturité des semences d'épinette blanche variait beaucoup en fonction de la situation géographique de la provenance et de l'année de production de cônes (STIELL 1981; MORISSETTE et GRENIER 1987). Pour réduire l'erreur expérimentale au minimum, les résultats des dosages pour chacun des composés étudiés ont été pondérés en fonction du nombre de semences utilisées parce que les dimensions des graines, paramètre génétique qui varie d'un arbre à l'autre (MERCIER *et al.* 1991), influencent les résultats d'analyses.

Cette observation trouve certainement son explication dans les proportions d'embryon de la semence. D'autres auteurs sont arrivés à des conclusions semblables en dosant l'ATP dans des semences (LYNN et MADSEN 1981; MAZOR *et al.* 1984).

3.2 Activités respiratoire et métabolique

L'approche la plus commune pour étudier la respiration des semences est la mesure du dégagement de l'O_2 et de la production de CO_2 (DUNGEY et PINFIELD 1980) qui sont attribuées à l'activité métabolique par la voie de la biosynthèse* de l'ATP (RAYMOND 1989). Toutefois, plusieurs semences peuvent germer en l'absence d'oxygène et souvent mieux qu'en milieu aéré (PRASAD *et al.* 1983). De plus, la production de CO_2 peut provenir, non pas de l'utilisation de l'oxygène, mais bien par une voie oxydative inconnue issue de lipides ou des phénols peroxydases (STEWART et BEWLEY 1980). En fait, il importe de remonter plus en amont le cycle de Krebs pour obtenir une mesure plus précise de l'activité métabolique des semences. La régie de l'oxydation phosphorylante, principale source d'ATP chez les organismes supérieurs, est considéré comme un élément central de la régulation du métabolisme énergétique cellulaire (ERECINSKA et WILSON 1982). Le mécanisme de cette régie a été discuté soit en terme d'équilibre, où interviennent le potentiel d'oxydoréduction et le potentiel phosphate (ERECINSKA et WILSON 1982), soit en terme cinétique qui s'exprime par le rapport ATP/ADP (KUNZ *et al.* 1981). Le rendement de l'activité métabolique est dû à la vitesse de transformation des nucléotides adényliques de sorte que les rapports entre ces molécules donnent un renseignement beaucoup plus proche de la réalité qu'une simple obtention des valeurs absolues. De plus, les concentrations d'ATP, d'ADP et d'AMP présentes dans les semences d'épinette blanche sont quelque peu variables d'un individu à l'autre et la comparaison de ces molécules donne une meilleure homogénéité des résultats entre les individus.

On a souvent remarqué que l'utilisation de l'ATP par la semence coïncidait avec sa biosynthèse (KUNZ *et al.* 1981; ERECINSKA et WILSON 1982; RAYMOND 1988). Ceci suggère que l'accumulation de l'ATP résulte de l'équilibre entre les deux processus. En fait, les valeurs des équations (1) et (2) reflètent l'activité enzymatique du pyruvate kinase et de l'adénylate kinase respectivement. Au début de la maturation, la semence produit donc plus d'ATP qu'elle n'en consomme. Ce phénomène se traduit par une valeur élevée du rapport $ATP \cdot ADP$ et $ATP \cdot AMP/ADP^2$ à la figure 19. La brusque diminution des courbes enregistrée une semaine avant la maturité témoigne de la forte activité métabolique ou de l'arrêt de la biosynthèse de l'ATP qui s'est produit durant la semaine précédant cette période. Par la suite, les activités respiratoire et métabolique demeurent relativement faibles. Cette observation va dans le sens de l'hypothèse voulant que durant les dernières phases de la maturation, les semences ont une activité physiologique intense (KRAMER et KOZLOWSKI 1960).

3.3 Charge énergétique

Le concept de la charge énergétique a été employé à plusieurs reprises pour indiquer l'état métabolique des cellules vivantes (ATKINSON 1969; CHING et KROSTAD 1972; CHING *et al.* 1977; RAYMOND 1988). Des valeurs de la charge énergétique comprise entre 30 et 50 p. cent semblent optimales pour conserver la viabilité des semences (RAYMOND 1988). Une diminution de la charge énergétique, telle qu'observée le 22 août, est une indication que l'activité régénératrice d'ATP a été limitée et implique que l'activité métabolique a été ralentie.

La charge énergétique est d'autant plus faible que cette limitation est élevée et indique que l'accumulation des nucléotides adényliques se fait sous forme d'AMP. Les semences doivent donc abaisser la charge

énergétique à un niveau inférieur à 50 p. cent pour permettre une conservation adéquate (Raymond 1988). Les semences d'épinette blanche qui sont récoltées avant d'atteindre leur maturité perdent jusqu'à 40 p. cent de leur viabilité après 15 mois de conservation (voir chapitre II). Cette information suggère que la semence ralentit fortement son activité métabolique au moment de la maturité et maintient ce niveau à un état stable durant la période de conservation.

3.4 Substrat respiratoire*

La très grande majorité des cellules de plantes vasculaires utilisent les glucides comme substrat respiratoire (AP REES 1980). L'idée que seules les réserves aisément accessibles durant la germination pouvaient être utilisées et le fait que toutes les semences contiennent du saccharose (jusqu'à 350 $\mu g \cdot g\ sec^{-1} \cdot$ semence, figure 21c) étaient également en faveur de l'utilisation des glucides pour la respiration (MAYER 1977; BEWLEY et BLACK 1978). La séquence des étapes de la mobilisation des réserves dans les semences montre que le raffinose disparaît en premier au cours de la germination (BEWLEY et BLACK 1978), suivi de près par l'hydrolyse des réserves lipidiques et protéiques (HALMER *et al.* 1978). D'ailleurs, la présence de l'amidon est discrète dans la semence d'épinette blanche, guère supérieure à 20 $\mu g \cdot g\ sec^{-1} \cdot$ semence, ce qui montre bien que cette dernière n'est pas de type amylacée (figure 21f). La faible contribution des glucides comme substrat respiratoire chez ces semences ainsi que l'activité relativement élevée de la néoglucogenèse (AP REES 1980) conduisent à chercher d'autres fonctions à ces composés. CROWE *et al.* (1987) ont montré que le saccharose jouerait un rôle de résistance à la dessiccation en maintenant la structure bicouche des membranes jusqu'à ce que l'état des membranes assure la croissance de la plantule. Les fonctions physiologiques des autres glucides lors de la germination restent à déterminer. Les semences de type lipidique subiraient donc une ß-oxydation des acides gras qui contribue ainsi de façon importante à l'alimentation de la respiration chez ces semences (RAYMOND 1988). En conséquence, il est normal de constater une diminution des glucides et les résultats de la figure 21 montrent bien que seul le raffinose semble jouer un rôle important durant la maturation. Un suivi des lipides et des protides au cours de la période de maturation des semences d'épinette blanche permettrait d'appuyer cette hypothèse.

Plus l'embryon est jeune, plus il est nécessaire d'augmenter les concentrations de glucides, particulièrement le saccharose, qui provient de la catalyse du glucose et du fructose. Cette catalysation coïncide bien avec la montée de l'activité métabolique (figure 19). Une partie de ces glucides peut d'ailleurs être remplacée par des composés métaboliquement inactifs comme le mannitol ou le glycérol (OBENDORF et WETTLAUFER 1984). Cette observation, accompagnée des grandes concentrations de glucides rencontrés au début de la maturation (figure 21), suggère que ces derniers composés ont un rôle physiologique plus marqué au début de l'embryogenèse. Dans les semences d'épinette blanche, la voie métabolique se modifie-t-elle progressivement au cours du développement de l'embryon pour passer d'une biosynthèse à partir d'un substrat lipidique ?

L'augmentation particulièrement significative du mannitol et la diminution de l'amidon après la maturité laissent envisager que ce composé peut jouer un rôle physiologique important au cours de la dormance ou de la post-maturation. Il se peut que le mannitol puisse agir sur la pression osmotique qui caractérise dans bien des cas la fin de la maturation (QUATRANO 1987; XU *et al.* 1990).

Seuls trois composés inconnus d'origine glucidique, L_x, M_i et T_i, diminuent brutalement leur concentration à la maturité (figure 23). De tous les inconnus trouvés dans les semences d'épinette blanche, seul le L_x est présent dans les tiges et les racines des plants de la même espèce (LAMBANY et LAROSE 1986)). En fait, ces semences contiennent une plus grande variété de glucides, de polyols et d'acides organiques que le reste des autres parties de l'arbre, presque le double en nombre. L'identification de ces composés inconnus serait un outil précieux qui permettrait d'avoir des indicateurs précis coïncidant avec la maturité des semences d'épinette blanche. Une attention toute particulière devrait être accordée au M_i et au T_i à cause de leur intensité respective et de leur décroissance sur plus de trois semaines.

3.5 Acide abscissique

Différentes approches ont été utilisées pour expliquer le rôle de l'acide abscissique (ABA) durant le développement de l'embryon (QUATRANO 1987; LE PAGE-DEGIVRY et BULARD 1988; LE PAGE-DEGIVRY *et al.* 1989). Les variations du contenu en ABA durant le développement des semences montrent deux types de progression selon les espèces. Selon certaine étude, la quantité d'ABA atteint son maximum lorsque la semence arrête sa croissance (QUATRANO 1987) alors que dans d'autres cas, les teneurs en ABA reviennent à des valeurs beaucoup plus réduites lorsque la semence parvient à maturité (LE PAGE-DEGIVRY et BULARD 1988). Les semences d'épinette blanche

présentent la particularité d'avoir une seconde augmentation de l'ABA après la maturité (figure 24). Dans ces semences, l'augmentation du niveau d'ABA libre et total débute avec la fin de la croissance de l'embryon, qui survient au cours de la semaine du 22 août, comme le présente le chapitre II à propos des mêmes lots de semences.

Selon QUATRANO (1987) un accroissement du niveau d'ABA endogène stimule les phases de maturation et inhibe les phases de germination. Toutefois, les semences de l'épinette blanche réussissent à germer avant d'atteindre leur pleine maturité. Le faible taux de germination des semences immatures serait-il causé par le manque de ressources nutritives dans la graine ou par un intense blocage hormonal ? QUATRANO (1987) mentionne également que le niveau d'ABA diminue lorsque l'embryon est prématurément retiré de la semence et que la germination peut se produire sans difficulté. Ce résultat laisse entrevoir l'action hormonale sur les faibles taux de germination des semences immatures. Au vu des résultats obtenus et des rares études sur la maturation, la dormance embryonnaire se manifesterait peu de temps après l'atteinte de la maturité (KARSEN *et al.* (1983). Les récoltes tardives de cônes peuvent expliquer la dormance aléatoire des différents lots de semences.

Peu d'auteurs se sont penchés sur la dynamique de l'ABA libre par rapport à ses conjugués. Les deux périodes où l'on peut noter de fortes concentrations d'ABA (figure 3.7) montrent qu'il s'agit surtout d'ABA conjugué qui disparaît presque entièrement à la maturité. Il est probable que l'ABA libre ne soit pas le seul responsable direct de la maturation ou de la dormance et qu'un ou plusieurs de ses conjugués jouent un rôle de premier ordre dans ces phénomènes.

3.6 Phases de maturation

La progression de l'activité métabolique ainsi que des différents composés physiologiques analysés montre clairement quatre phases de développement physiologique durant la période examinée :

i) une première phase, qui s'est terminé après la première semaine, est caractérisée par une activité métabolique relativement faible, de très grandes concentrations de la plupart des glucides et de leurs dérivés et une quantité élevée d'ABA total. Cette première phase devrait sans doute correspondre à la fin de l'embryogenèse et serait la terminaison d'une longue phase;

ii) la seconde phase correspondrait à la période de maturation, où les glucides, les polyols et les acides shikimique et quinique se dégradent avec une transformation du glucose et du fructose en saccharose, le raffinose se synthétise, l'activité respiratoire est à son niveau le plus élevé avec une charge énergétique de 73 p. cent et où l'ABA, libre et conjugué, se dégrade fortement;

iii) l'atteinte de la maturité est très courte, guère plus d'une semaine, et se caractérise par une diminution sévère de l'activité respiratoire, de la charge énergétique qui passe à 48 p. cent, du mannitol et des composés L_x, M_i et T_i;

iv) la stabilisation des glucides, à l'exception de l'amidon qui diminue et des polyols, et une augmentation rapide du niveau d'ABA conjugué et du mannitol, identifient la dernière phase.

Évidemment, cette liste des critères physiologiques de maturation n'est pas exhaustive. D'autres paramètres peuvent être liés à ces phases, tels la pression osmotique, le taux de dessiccation, le pH ou encore la progression de certains lipides, protides, etc. De plus, il est probable que le développement physiologique de la semence d'épinette blanche avant sa germination ne se termine pas avec l'arrivée de cette quatrième phase. L'importance exacte de la post-maturation après la récolte reste encore à définir et il est certain que cette dernière joue un rôle appréciable tant morphologiquement que physiologiquement. Une étude plus approfondie de cet aspect du développement embryonnaire s'impose.

* * *

En somme, il est possible, à partir de l'analyse des glucides, des polyols et de l'acide abscissique, de suivre le développement des semences d'épinette blanche. Des indicateurs potentiels de maturité, par exemple le suivi de l'activité métabolique, de la charge énergétique et de certains composés d'origine glucidique comme le L_x, le M_i et le T_i, peuvent même permettre de prévoir à l'avance la période de maturité, pour autant qu'ils soient identifiés. D'autres bio-indicateurs, comme les tests colorimétriques sur le mégagamétophyte, pourraient être mis au point à partir de composés présents dans la semence en quantités suffisantes pour qu'on puisse en déceler les variations.

Conclusion

La vitesse de progression des semences d'épinette blanche au cours de la saison de croissance est influencée en grande partie par l'accumulation de chaleur et le phénotype de l'arbre. D'autres facteurs environnementaux encore mal connus peuvent jouer un rôle secondaire. Toutefois, nous savons que la maturation progresse en commençant par le sommet jusqu'à la base de l'arbre. Les cônes du sommet parviennent donc à maturité environ une semaine avant ceux de la base. De la même manière, les cônes situés du côtés sud parviennent à maturité plus rapidement que ceux du côté nord, avec un délai d'environ une semaine également. Par ailleurs, on n'observe aucune différence significative quant au pouvoir germinatif et à la vitesse de maturation de toutes les semences d'un même cône. C'est donc dire que toutes les semences d'un même cône d'épinette blanche sont d'égale valeur en terme de pouvoir germinatif.

Les semences arrivent à maturité à peine quelques jours avant l'ouverture des cônes. Toutefois, ce dernier phénomène n'est pas nécessairement lié à la maturation puisque les résultats montrent que les cônes d'une provenance nordique ont disséminé des semences immatures. Ce phénomène est certainement la conséquence de l'accumulation insuffisante de température à la fin de la période de croissance. Les arbres de hautes latitudes (ou d'altitude) rencontrent donc un problème supplémentaire et devraient faire l'objet de suivis de maturation particuliers car on veut savoir si les semences parviendront à maturité à la fin de la saison de croissance.

La période de récolte doit se faire au plus tôt une semaine avant la maturité puisque le taux de germination des semences cueillies avant cette date est significativement inférieur. De plus, ces semences immatures maintiennent moins bien leur viabilité durant la conservation. Les cônes doivent également être cueillis peu de temps après la maturité car les semences demeurant dans les cônes, mêmes ceux qui sont déjà ouverts, perdent rapidement leur viabilité. La récolte des cônes peut débuter lorsque l'embryon occupe 90 p. cent de la longueur de la cavité embryonnaire de la semence, que la teneur en eau est de 63 p. cent, que leur densité spécifique est de 0,99 g/L et qu'environ 80 p. cent des cônes flottent dans une solution de méthanol dilué (d = 0,93 g/L). Ces trois derniers critères sont intimement liés puisque le retrait de l'eau dans les cônes est le principal paramètre qui affecte à la fois leur densité et leur ouverture. Par conséquent, ces derniers indicateurs peuvent également être de bons estimateurs de la date d'ouverture des cônes.

Bien que ces indicateurs soient suffisamment précis pour déterminer l'état de maturité, il sont peu efficaces pour en estimer à l'avance la date de récolte. Cependant, il est possible de prédire la maturité quelques semaines auparavant en associant le développement de la semence à la progression de l'inflorescence de l'épilobe, plante compagne qui intègre les mêmes facteurs climatiques et édaphiques que les cônes d'épinette blanche. La hampe florale de l'épilobe, tout comme la maturation des semences de l'épinette blanche, évolue principalement en fonction de l'accumulation de la chaleur au cours de la saison estivale. Les semences de cette espèce arrivent à maturité avec l'éclatement des capsules à la base de l'inflorescence de l'épilobe. Ces deux stades de développement correspondent à 1276 ± 112 degrés-jours et à 1943 ± 155 unités thermiques, ces dernières donnant une meilleure précision que les degrés-jours. En conséquence, il est possible de prévoir quelques jours à l'avance la période optimale de récolte des cônes en suivant la progression acropétale* de l'épilobe qui évolue avec une différence phénologique de 3 à 7 jours entre deux phénophases. D'autres facteurs environnementaux, comme le drainage du sol et l'exposition, semble avoir un effet certain sur la vitesse de développement de la plante. Il est donc souhaitable de choisir les populations témoins d'épilobe à partir d'un type d'exposition et de drainage particulier. Le suivi phénologique de l'épilobe ne tient évidemment pas compte de la variabilité intra-population (estimée à 12 p. cent) mais il réussit néanmoins à distinguer les variations extra-populations.

La maturation peut être divisée en quatre phases physiologiques :

- la première phase est caractérisée par une faible activité métabolique, une très grande concentration de la plupart des glucides et de leurs dérivés et une quantité appréciable d'acide abscissique (ABA) total. Cette phase correspond sans doute à la fin d'un stade de développement de la semence qui précède la maturation;

- la seconde phase consiste en une augmentation rapide des glucides avec une transformation du glucose et du fructose en saccharose, des polyols et des acides organiques avec une activité métabolique intense et relativement stable. La charge énergétique se situe autour de 73 p. cent. Le niveau de l'ABA libre et total diminue graduellement;

- la phase suivante correspondant à la maturité se caractérise par une importante diminution de l'activité métabolique et respiratoire – la charge énergétique est estimée à 48 p. 100 – ainsi que de la concentration du mannitol et des composés L_x, M_i et Y_i;

- la dernière phase serait la transition entre la maturité et la post-maturité ou l'entrée en dormance. L'activité métabolique est très faible et stable. Tous les composés étudiés sont également stables, à l'exception du mannitol qui augmente fortement sa concentration durant cette période et de l'amidon qui diminue significativement. La concentration d'ABA conjugué augmente graduellement jusqu'à atteindre un palier après deux semaines. Ce dernier résultat indique que la dormance hormonale s'installe après la phase de maturité.

L'ensemble de ces résultats montre que les composés glucidiques jouent un faible rôle durant la maturation et qu'il ne sont pas les principaux substrats respiratoires de réserve. Le raffinose est le seul composé glucidique à augmenter progressivement au cours du développement de la semence. La comparaison des résultats obtenus dans cette expérimentation avec ceux de la littérature semble être en faveur des composés lipidiques et protéiques dans le rôle de substrat respiratoire. Une étude plus approfondie devrait être menée sur ces composés afin d'appuyer cette hypothèse.

En plus de servir à mesurer la respiration et l'activité métabolique, les composés L_x, M_i et T_i peuvent être des bio-indicateurs fiables et précis de la maturité. D'autres bio-indicateurs, comme les tests colorimétriques du mégagamétophyte, ne pourront être développés qu'à partir de composés suffisamment présents dans la semence pour qu'on puisse en déceler les variations.

Nous avons montré qu'il est possible de déterminer la période optimale de la récolte des cônes d'épinette blanche à l'aide de critères relativement simples à utiliser. Toutefois, la compréhension exacte des mécanismes en cause durant ce stade de développement reste encore à découvrir pour nombre de ses aspects.

Synthèse et recommandations

La synthèse et les recommandations suivantes portent exclusivement sur la maturation et la récolte des cônes **d'épinette blanche**.

1. Prédiction de la date de maturité

1.1 La maturité des semences est atteinte à des périodes différentes selon l'année de production et la situation géographique du peuplement. En outre, les peuplements situés le plus au sud produisent en premier des semences matures.

RECOMMANDATION :

Éviter de généraliser l'état de maturité des cônes d'un peuplement sur un trop vaste territoire à la fois.

1.2 Les semences d'épinette blanche parviennent à maturité lorsqu'il y a accumulation de 1276 ± 112 degrés-jours ou 1943 ± 155 unités thermiques au cours de la saison de croissance.

RECOMMANDATION :

Les degrés-jours ou les unités thermiques peuvent être utilisés dans un programme de récolte de cônes pour estimer les périodes optimales de récolte.

1.3 Les unités thermiques donnent une précision légèrement supérieure à celle des degrés-jours pour suivre la progression du développement des semences.

1.4 Certaines années, les peuplements de haute latitude ou d'altitude peuvent manquer de chaleur (sous forme de degrés-jours ou d'unités thermiques) pour rendre leurs semences à maturité.

RECOMMANDATION :

Les peuplements nordiques ou de haute altitude devraient faire l'objet d'une attention particulière; il serait pertinent d'y suivre les degrés-jours ou les unités thermiques afin de déterminer si leurs semences parviendront à maturité.

RECOMMANDATION :

Réaliser une étude sur la dynamique de maturation des semences d'épinette blanche dans les régions nordiques.

1.5 Il existe un lien étroit entre la date de maturité des semences d'épinette blanche et le début de l'éclatement des capsules à la base de l'inflorescence de l'épilobe à feuilles à étroites (*Epilobium angustifolium*).

1.6 La progression acropétale de la hampe florale de l'épilobe se fait avec un décalage d'environ 3 à 7 jours entre chacune des six parties retenues (voir figure 9).

RECOMMANDATION :

Il est possible d'utiliser la progression de la hampe florale de l'épilobe pour ***estimer*** *à l'avance – 1 à 2 semaines – la période de récolte des semences d'épinette blanche pour l'ensemble d'une population.*

1.7 La vitesse de développement de la hampe florale de l'épilobe varie selon le type d'exposition et les conditions édaphiques. Seuls les épilobes évoluant sur un site sableux bien drainé avec une maximum d'ensoleillement suivent la progression des semences d'épinette blanche.

RECOMMANDATION :

Ne sélectionner que les populations d'épilobe qui poussent sur des sites sablonneux bien drainés et bien ensoleillés afin de suivre adéquatement la progression des semences d'épinette blanche.

* * *

2. Indicateurs de maturité

2.1 Le développement des semences suit une progression basipède, c'est-à-dire que les semences situées au sommet de l'arbre parviennent à maturité au moins une semaine avant celles qui sont situées dans les parties sous-jacentes.

2.2 Le développement des semences progresse plus rapidement du côté sud de l'arbre.

RECOMMANDATION :

Les cônes sélectionnés pour indiquer l'état de maturité de l'ensemble des semences d'un peuplement devraient être prélevés du côté sud et au sommet des arbres puisque ces cônes sont les premiers à atteindre la maturité.

2.3 Il n'y a pas de variations dans la vitesse de développement des semences à l'intérieur d'un cône.

RECOMMANDATION :

Les semences servant à déterminer l'état de maturité principalement par la longueur de l'embryon peuvent être prélevées n'importe où dans le cône.

2.4 La maturité des semences est atteinte à la même époque à l'intérieur d'un peuplement. Seuls 12 p. cent des arbres présents à l'intérieur du peuplement produisent des semences matures à une période différente de l'ensemble du peuplement. Cette variation peut être de l'ordre d'une ou deux semaines avant ou après la date de maturité générale.

RECOMMANDATION :

L'échantillonnage des cônes servant à déterminer l'état de maturité de l'ensemble de la population devrait être réalisé sur ***au moins trois arbres*** *afin de réduire le risque de choisir un arbre qui représente mal l'ensemble du peuplement.*

2.5 La maturité des semences est atteinte lorsque :

- l'embryon occupe 90 p. cent de la longueur de la cavité embryonnaire et que le gamétophyte a atteint une consistance laiteuse et ferme;
- la teneur en eau des cônes est de 63 p. cent;
- la densité spécifique des cônes est de 0,99 g/L;
- environ 80 p. cent des cônes flottent dans une solution de méthanol dilué à une densité égale à 0,93 g/L (mélange de 530 mL d'eau avec 470 mL de méthanol à 99 p. cent).

2.6 Teneur en eau : bon indicateur mais peu pratique compte tenu du faible écart qui sépare les cônes matures et les cônes immatures (moins de 5 p. cent) et du délai plutôt long entre le début de l'échantillonnage et la réaction (entre 24 et 48 heures).

2.7 Densité spécifique : c'est un indicateur fiable mais l'écart qui distingue les cônes matures des immatures est également faible; la réaction est rapide, de l'ordre de quelques minutes.

2.8 Test de flottaison : ce test est fiable pour déterminer l'état de maturation des cônes d'épinette blanche. La réaction est rapide et facilement décelable. Il peut servir à déterminer la période d'ouverture des cônes puisque cette dernière se produit quelques jours après la flottaison des cônes.

RECOMMANDATION :

Les semences et les cônes qui ont servis au test de flottaison ne doivent pas servir à la production des semences et doivent être rejetés.

2.9 Il y a une excellente corrélation entre la teneur en eau, la densité spécifique et le test de flottaison.

2.10 Longueur de l'embryon : cet indicateur est fiable, rapide et efficace. En outre, il peut être utilisé directement sur le terrain à condition de couper la semence avec **une lame de rasoir ou un scalpel.**

RECOMMANDATION :

Il faut observer de près les cônes et les semences au cours des dernières étapes de maturité afin de ne pas rater la période optimale de récolte.

RECOMMANDATION :

Cette dernière recommandation suppose un échantillonnage régulier afin de vérifier l'état d'avancement de la maturation.

* * *

3. Date de la récolte

3.1 Au Québec, les cônes d'épinette blanche parviennent à maturité entre la première semaine d'août et la deuxième semaine de septembre.

3.2 On ne devrait récolter que des semences matures, pour les raisons suivantes :

- meilleure conservation;
- triage plus facile;
- meilleur taux de germination;
- plus grande facilité d'extraction;
- meilleur contrôle de l'état phytosanitaire pendant la germination.

RECOMMANDATION :

Il serait souhaitable de ne récolter que les semences qui sont parvenues à maturité.

RECOMMANDATION :

La récolte des cônes peut être réalisée avant que les semences d'épinette blanche soient matures. Toutefois, leur qualité et leur pouvoir germinatif diminuent en fonction du temps qui sépare la date de récolte de la date de maturité.

3.3 La maturité des semences d'épinette blanche est atteinte généralement une ou deux semaines avant l'ouverture des cônes.

RECOMMANDATION :

La récolte des cônes devrait idéalement se réaliser à l'intérieur d'une période relativement courte de sorte qu'il faudrait prévoir les équipes de travail en conséquence.

3.4 Le test de flottaison renseigne sur la maturité peu de temps avant l'ouverture des cônes, de sorte qu'il peut servir également d'indicateur pour déterminer quelques jours à l'avance la dissémination des semences.

RECOMMANDATION :

Le test de flottaison peut servir à déterminer quelques jours à l'avance l'ouverture des cônes.

3.5 Le taux de germination des semences contenues dans les cônes après leur ouverture diminue graduellement.

RECOMMANDATION :

Il est préférable de récolter les semences entre le moment où les semences sont parvenues à maturité et l'ouverture des cônes.

3.6 On n'a observé aucune différence significative dans le pourcentage de germination entre les semences qui sont disséminées et celles qui restent dans les cônes.

RECOMMANDATION :

Si nécessaire, il est possible de récolter les cônes sur le parterre puisque la perte de qualité de ces semences est égale à celles des graines restées sur l'arbre; cette opération augmente cependant les coûts de nettoyage.

RECOMMANDATION :

Il y aurait lieu d'approfondir les connaissances sur la qualité des semences issues de cônes tombés au sol.

* * *

4. Extraction des semences

4.0 L'ouverture des cônes est due principalement au retrait de l'eau. Mais ce dernier n'explique pas à lui seul ce phénomène puisque le séchage quasi complet des cônes au cours des premières semaines de récolte permet difficilement leur ouverture.

RECOMMANDATION :

Les cônes qui sont parvenus à maturité s'ouvrent plus facilement et leurs semences sont plus faciles à extraire.

4.2 Toutes les semences d'un cône d'épinette blanche possèdent le même pouvoir germinatif.

RECOMMANDATION :

En pratique, on peut extraire toutes les semences d'un cône d'épinette blanche sans nuire à la qualité du lot.

4.3 Le poids d'un lot de semences caractérise l'arbre ainsi que la provenance.

RECOMMANDATION :

Le triage à petite échelle par densité d'air doit tenir compte du poids des semences pour évaluer le véritable rendement en semences.

4.4 Toutes les semences d'un cône ne sont pas disséminées au même moment lors de l'ouverture de ce dernier.

RECOMMANDATION :

Connaître les conditions de post-maturation afin de préciser les conditions de manutention en région et d'entreposage des cônes.

* * *

5. Suivi de la maturation

5.1 La maturation des semences d'épinette blanche peut être divisée en quatre phases physiologiques :

- **la fin de l'embryogenèse**, caractérisée par une faible activité métabolique, une grande concentration de la plupart des glucides (à l'exception du saccharose et du raffinose) et de leurs dérivés et une quantité élevée d'acide abscissique (ABA) total;
- **la maturation** : augmentation rapide des glucides, des polydes et des acides organiques avec activité métabolique intense. Le niveau de l'ABA total diminue progressivement;
- **la maturité** : arrêt des activités métabolique et respiratoire et disparition quasi complète du mannitol et des composés L_x, M_i et T_i;
- **le début de la post-maturation** : entrée en dormance avec augmentation significative de l'ABA conjugué. L'activité métabolique reste très faible et stable. Tous les composés étudiés demeurent stables à l'exception du mannitol qui augmente fortement et de l'amidon qui diminue significativement.

RECOMMANDATION :

Durant la maturation, des suivis physiologiques devraient être appliqués aux deux principales sources de réserve nutritive; les lipides et les acides aminés.

RECOMMANDATION :

La post-maturation des semences devrait être davantage étudiée, principalement en relation avec la manutention des cônes en région. Trois facteurs devraient être privilégiés : les concentrations en mannitol et en amidon ainsi que la teneur en eau.

RECOMMANDATION :

Les activités métabolique et respiratoire devraient être utilisées comme indicateurs précis de la maturité à l'échelle de la recherche.

RECOMMANDATION :

Les composés L_x, M_i et T_i peuvent servir d'indicateurs précis de la maturité. Toutefois, il serait pertinent d'identifier ces molécules.

RECOMMANDATION :

Des travaux de recherche devraient être poursuivis afin de mettre au point un test colorimétrique simple basé sur la progression des molécules étudiées.

RECOMMANDATION :

Le raffinose devrait être privilégié dans les milieux de culture des embryons d'épinette blanche.

RECOMMANDATION :

Le suivi de l'acide abscissique conjugué pourrait servir d'indicateur de dormance des semences.

Glossaire des termes utilisés dans l'ouvrage

Acropétale (*Acropetal*) : adj. Se dit du développement progressif d'une inflorescence qui s'effectue de la base vers le sommet de l'axe.

Basipède (*Basipete*) : adj. Se dit du sens d'évolution d'un phénomène (progression d'une inflorescence p. ex.) lorsqu'il se propage à partir du sommet d'un organe en direction de sa base.

Biophysique (*Biophysics*) : n.f. Science biologique qui applique les méthodes et les techniques de la physique à l'étude des êtres vivants. || adj. Qui désigne les processus qui font appel à des phénomènes physiques dans les organismes vivants.

Biosynthèse (*Biosynthesis*) : n.f. Synthèse de composés organiques par un organisme vivant.

Biotique (*Biotic*) : adj. Qui a pour origine un être vivant. || Qui permet le développement d'un être vivant. Ant. : **Abiotique**.

Cavité embryonnaire (*Embryo cavity*) : n.f. Partie creuse d'une semence, à l'intérieur du tégument, qui renferme l'embryon.

Degrés-jours (*Degree-days*) : n.m. Accumulation au cours d'une saison de végétation des températures moyennes quotidiennes supérieures à la température d'un seuil de croissance (5° C dans le cas du présent travail).

Déhiscence (*Dehiscence*) : n.f. Lors de la maturation, ouverture d'une anthère, d'un fruit ou d'un cône, qui permet au pollen et aux semences de s'échapper.

Dissémination (*Scattering, seed dispersal*) : n.f. Action de disperser et de répandre des semences ou du pollen.

Dormance (*Dormancy*) : n.f. Absence de croissance malgré le fait que l'organe soit placé dans des conditions propices à sa croissance. Seules des conditions microclimatiques ou physiologiques *ad hoc* peuvent mettre un terme à cet état en « levant » la dormance.

Dosage (*Proportion, Titration*) : n.m. Détermination quantitative des composants d'une substance présente dans un organisme.

Édaphique (*Edaphic*) : adj. On entend par facteurs édaphiques, des facteurs écologiques uniquement liés au sol. Exemple : la teneur en calcium, la texture du sol, le drainage sont des facteurs édaphiques.

Embryogenèse (*Embryogenesis*) : n.m. Développement de l'embryon.

Embryon (*Embryo*) : n.m. Formation généralement diploïde et dérivée de l'évolution de l'oeuf né de la fécondation.

Endosperme (*Endosperm*) : n.m. Chez les résineux, ce terme désigne à tort le tissu de réserve des semences (voir **Mégagamétophyte**). C'est un tissu haploïde résultant du développement du prothalle femelle, né lui-même de la méiose d'une cellule du nucelle d'origine.

Gamète (*Gamete*) : n.m. Cellule reproductrice sexuée, mâle ou femelle.

Glucide (*Carbohydrate*) : n.m. Constituant essentiel de la matière vivante renfermant du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène, appelé parfois « sucre » ou improprement « hydrate de carbone ». Le glucose, le saccharose (*sucrose* en anglais), l'amidon (*starch* en anglais) sont des glucides très répandus dans le monde végétal.

Graine (*Seed*) : n.m. Produit de l'évolution d'un ovule fécondé. Chez les résineux, la graine renferme un embryon et un important mégagamétaphyte. Chez les feuillus, du fait de la double fécondation, la graine renferme un embryon, un albumen et un périderme.

Hormone (*Hormone, Growth regulator*) : n.f. Messager biochimique naturel qui stimule ou inhibe la croissance des cellules.

Latence (*Latence*) : n.f. État de ce qui ne se manifeste pas, du phénomène qui reste caché.

Lipide (*Lipid*) : n.m. Corps gras, insoluble dans l'eau, qui contient une ou plusieurs molécules d'acide gras ou de dérivés d'acides gras. C'est une forme de réserve nutritive très répandue, particulièrement dans les semences d'arbres résineux.

Lyophilisation (*Lyophilisation*) : n.f. Procédé de dessication par congélation à très basse température (généralement -196° C) suivie d'une sublimation sous vide.

Maturation (*Maturation*) : n.f. Ensemble des transformations ou phases successives par lesquelles passent les semences et les tissus qui les enveloppent, depuis la fécondation de l'ovule jusqu'à la maturité de la graine. Par extension, ce terme s'applique aux cellules et aux tissus reproducteurs qui sont parvenus à leur complet développement. Ne pas confondre avec post-maturation (voir ce mot).

Maturité (*Maturity*) : n.f. État de ce qui est mûr ou mature, c'est-à-dire parvenu à son complet développement.

Mégagamétophyte (*Megagametophyte*) : n.m. Phase haploïde du cycle des végétaux qui produit le gamète femelle. C'est entre autres le tissu de réserve des semences d'arbres résineux, qui est d'ailleurs faussement appelé « endosperme ».

Métabolisme (*Metabolism*) : n.m. Ensemble des réactions biochimiques qui se produisent au sein de la matière vivante et par lesquelles certaines substances s'élaborent (anabolisme) et se dégradent (catabolisme) en libérant de l'énergie.

Phénologie (*Phenology*) : n.f. Étude de l'influence des climats locaux sur le développement périodique de la végétation et du règne animal. Utilisation de la date d'un évènement phénologique d'une plante indicatrice pour prédire ou estimer la date d'un évènement subséquent sur la même plante ou sur un autre organisme.

Phénophase (*Phenophase*) : n.f. Date d'un évènement phénologique spécifique d'une plante indicatrice.

Post-maturation (*Post-maturation*) : n.f. Souvent, les semences ne sont pas encore aptes à la germination lorsqu'elles sont parvenues à maturité et récoltées. Elles doivent alors connaître une post-maturation qui est l'entreposage des cônes (pour les arbres résineux) ou des fruits (pour les arbres feuillus) avant leur manutention et leur extraction. Par exemple, les semences de l'épinette blanche et du pin blanc doivent subir une post-maturation avant d'être aptes à la germination.

Protéine (*Protein*) : n.f. Composé organique renfermant essentiellement du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Polymère composé d'acides aminés de masse molaire élevée.

Stratification (*Stratification*) : n.f. Opération qui consiste à éliminer la dormance des graines, principalement par un traitement de température, de lumière et d'humidité.

Semence (*Seed*) : n.f. Organe ou partie d'organe qui se sème; graine, noyau, pépin, etc.

Substrat respiratoire (*Respiration substrate*) : n.m. Molécule sur laquelle agit une ou plusieurs enzymes pour fournir l'énergie nécessaire à la respiration.

Tégument (*Seed coat*) : n.m. Enveloppe protectrice d'une graine, d'un ovule.

Unité thermique (*Thermal unit*) : n.f. Accumulation au cours d'une saison de végétation de l'intégration quotidienne des températures minimales et maximales.

Variabilité inter-population (*Inter-population variability*) : n.f. Aptitude à présenter des variations à l'intérieur d'une même population.

Variabilité extra-population (*Extra-population variablility*) : n.f. Aptitude à présenter des variations entre deux ou plusieurs populations.

Liste des ouvrages cités

ANONYME, 1978. *Système d'informatique des sols canadiens (SISCan). Manuel de description des sols sur le terrain.* Ottawa, Institut de recherche sur les sols, ministère de l'Agriculture du Canada.

ANONYME, 1986. *La récolte des cônes.* Gouvernement du Québec, publication 3210-13-86 : 4 p.

AP REES, T., 1980. *Integration of pathways of synthesis and degradation of hexose phosphates.* Dans : The Biochemistry of Plants. Vol. 3. Stumpf, P.K. et E.E. Conn., éd. : 1-42. New York, Academic Press.

ARISMAN, H., 1984. *Cone collection and seed-handling procedures in relation to maturity of cones and quality of seeds of* Pinus merkusii *Jung and de Vriese in Indonesia.* Thèse, Département des Ressources forestières, Université du Nouveau-Brunswick.

ARNOLD, C.Y., 1959. *The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system.* Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 74 : 430-445.

ATKINSON, D.E., 1969, *Regulation of enzyme function.* Ann. Rev. Microbiol. 23 : 47-68.

BAIER, W., 1965. *The relationship of meteorological factors, soil moisture and plant growth.* Internat. J. Biometeor. 9 : 5-20

BARNARD, J., G.H. GIBBS et M.T. WITTUM, 1978. *Predicting corn and wheat yields from lilac phenology and weather data.* Dans Hopp., R.J., 1978. Phenology : an aid to agricultural technology. Agricultural Experiment Station, University of Vermont, Bull. 684, 50 p. : 14-15.

BARNETT, J.P., 1979. *Maturation of tree seeds.* South. For. Exp. Station., U.S.D.A. Forest Service, Pineville, Louisiana, U.S.A.

BEAUCHESNE, C., 1985. *Rapport technique sur la récolte de cônes d'épinette blanche, épinette noire et mélèze laricin de la saison 1984.* Ministère de l'Énergie et des Ressources, rapport interne, 51 p.

BEWLEY, J.D. et M. BLACK, 1978. *Physiology and biochemistry of seeds in relation germination. Vol. 1. Development, germination and growth.* New York, Springer-Verlag.

BIDWELL, R.G.S., 1979. *Plant physiology.* Second edition. MacMillan Publishing, New York : 103-105.

BLACK, A.R. et L.C. BLISS, 1980. *Reproductive ecology of Picea mariana (Mill.) BSP at tree line near Inuvik, Northwest Territories, Canada.* Ecol. Monogr. 50 : 331-354

BLAIR, B.O. et J. HERTEL, 1973. *The phenological response of five perennial plant species at five locations in Indiana to climatic variations 1966-1972.* Ind. Acad. Sci. 83 : 139-145.

BLAIR, B.O., 1978. *Predicting corn and soybean yields from multispecies phenology.* Dans Hopp, R.J. 1978. Phenology : an aid to agricultural technology : 10-13. Agricultural Experiment Station, University of Vermont, Bull. 684, 50 p.

CAPRIO, J.M., 1974. *The solar thermal unit concept in problems related to plant development and potential evapotranspiration.* Dans : Leith, H. 1974. Phenology and seasonality modeling : 353-364. Springer Verlag. New York, Vol. 8, 444 p.

CARON, G.E., B.S.P. WANG et H.O. SCHOOLEY, 1990. *Effect of tree spacing, cone storage, and prechilling of germination of Picea glauca seed.* Forestry Chronicle, August : 388-392.

CASTONGUAY, Y., J. BOISVERT et P.-A. DUBÉ, 1984. *Comparaison de techniques statistiques utilisées dans l'élaboration de modèles prévisionnels phénoclimatiques.* Agricult. and For. Meteor. 31 : 273-288.

CASTONGUAY, Y. et P.-A. DUBÉ, 1985. *Climatic analysis of a phenological zonation : A multivariate approach.* Agricult. and Form. Meteor. 35 : 31-45.

CHING, T.M., S. HEDTKE et W.E. KRONSTAD, 1972. *Correlation of field mergence rate and seed vigor criteria in barley cultivars.* Crop Sci. 17 : 312-314.

CHING, T.M. et W.E. KRONSTAD, 1972. *Varietal differences in growth potential, adenylate energy levels, and energy charge at wheat.* Crop Sci. 12 : 785-789.

COCHRAN, W.G., 1977. *Sampling techniques.* Third edition, John Wiley and Sons Publishing, New York : 150-188.

CRAM, W.H., 1956. *Maturity of Colorado spruce cones.* For. Sci. 2 (1) : 26-30

CRAM, W.H., et H.A. WORDEN, 1957. *Maturity of white spruce cones and seeds.* For. Sci. 3 : 263-269

CROSSLEY, D.I., 1953. *Seed maturity in white spruce.* Can. Dep. Res. Dev., For. Res. Div., Silvic. Res. Note 104.

CROWE, J.M., L.M. CROWE, J.F. CARPENTER et C.A. WISTROM, 1957. *Stabilization for dry phosphoipid bilayers and proteins by sugars.* Biochem. J. 242 : 1-10

DUBÉ, P.-A. et J.É. CHEVRETTE, 1978a. *Phenology applied to bioclimatic zonation in Québec.* Dans Hopp, R.J. 1978. Phenology : an aid to agricultural technology : 33-42. Agricultural Experiment Station, University of Vermont, Bull. 684, 50 p.

DUBÉ, P.-A. et J.É. CHEVRETTE, 1978b. *Projet de phénologie (période - 1970 à 1977 inclusivement).* Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. Université Laval. 15 p.

DUBÉ, P.-A., L.P. PERRY et M.T. VITTOM, 1984. *Instructions for phenological observations : Lilac and Honeysuckle.* Agricultural Experiment Station, University of Vermont, Bull. 692, 7 p.

DUBÉ, P.-A., P. ROCHETTE et Y. CASTONGUAY, 1989. *An application of phenology to crop zonation in Québec, Canada.* Proc. 11th ISB Congress, West Lafayette : 78-89.

DUNGEY, N.O. et N.J. PINFIELD, 1980. *The effect of temperature on the supply of oxygen to embryos of intact* Acer pseudoplatanus *L. Seeds.* J. Exp. Bot. 31 : 983-992

DURAND, R., 1967. *Action de la température et du rayonnement sur la croissance.* Ann. Physiol. Veg., 9 (1) : 5-21.

EDWARDS, D.G.W., 1979. *Cone collection and processing-effects on seed quality and yields.* Environment Canada : 12-37.

ERECINSKA, M. et D.F. WILSON, 1982. *Regulation for cellular energy metabolism.* J. Membrane Biol. 76 : 1-14

GERBIER, N., 1982. *Qu'est-ce que l'agrométéorologie ?* Phytoma, avril 1982 : 10-12.

GILROY, N.L., et R.J. HOPP, 1978. *Predicting McIntosh apple bloom dates.* Dans Hopp, R.J. 1978. Phenology : an aid to agricultural technology : 21-22. Agricultural Experiment Station, University of Vermont, Bull. 684, 50 p.

GORDEN, A.E. et A. LODGE, 1978. *The effect of seed maturity on the dormancy and the viability of British produced Douglas-fir and Sitka spruce seeds.* Proc. Symp. Flowering and Seed Development in tree. 15-18 mai, Mississipi : 362.

GRIFFORD, D.J., 1988. *An electrophoretic analysis of the seed proteins from* Pinus marticolo *and eight other species of pine. Can.* J. Bot. 66 : 1808-1812.

HALMER, P., J.D. BEWLEY et T.S. THORPE, 1978. *Degradation of the endosperm cell walls of Lactuca sativa L., cv. 'Grand Rapids'. Timing of mobilisation of soluble sugars, lipid and phytate.* Planta 139 : 1-8.

HATANO, K.I., et S. ASAKAWA, 1964. *Physiological processes in forest tree seeds during maturation storage, and germination.* Internat. Rev. For. Res. 1 : 279-323.

HOPKINS, A.D., 1918. *Periodic events and natural laws as guide to agriculture research and practice.* USDA, Monthly Weather Rev., Suppl. 9.

HOPP, R.J., et B.O. BLAIR, 1973. *Plant phenology in eastern and central North America. I. Development of network and preliminary results.* Vermont Agr. Exp. Sta., Bull. 677, 53 p.

HOPP, R.J., 1965. *Modeling lilac development.* Int. J. Biometeor. 20 : 256-260.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION, 1985. *Règles internationales pour les essais de semences.* Seed Sci. and Technol. 13 (Suppl. 2) : 1-236.

JACKSON, L.P. et S. BITTMAN, 1978. *Testing a regional phenology model in the Atlantic provinces.* Dans Hopp, R.J. 1978. Phenology : an aid to agricultural technology : 31-32. Agricultural experiment Station, University of Vermont, Bull. 684, 50 p.

JENSEN, A., K. STEPHANSEN et A. LOKEN, 1967a. *Seed ripening of Norwegian coniferous trees. I. Correlation between germination and content of sugars and water-soluble phenols during seed ripening of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst).* Medd. Westland Forstl. Forsoksta. 42 : 145-167.

JENSEN, A., K. STEPHANSEN et A. LOKEN, 1967b. *Seed ripening of Norwegian coniferous trees. II. Variation in the chemical content and germination of seeds of* Picea abies *(L.) Karst and* Picea sitchensis *(Bong.) Carr.* Medd. Westland Forstl. Forsoksta. 44 : 189-222.

JOHNSON, M.A., J.A. CARLSON, J.H. CONKEY et T.L. NOLAND, 1987. *Biochemical changes associated with zygotic pine embryo development.* J. Ex. Bot. 38(188) : 518-524.

KARDELL, L., B. NYMAN et S. BOBECK, 1973. *Ripening process in relation to temperature and sugar content in seeds of scots pine* (Pinus sylvestris L.). Stu. For. Sue. 107 : 1-21.

KARSSEN, C.M., D.L.C. BRINKHORST VAN DER SWAN, A.E. BREEKLAND et M. KOORNNEEF, 1983. *Induction of dormancy during seed development by endogenous abscissic acid : Studies on abscissic acid deficient genotypes of* Arabidopsis thaliana *(L.)* . Planta 157 : 158-165.

KUNZ, W., R. BOHOENSACK, G. BOELIMIC, U. KUESTER, G. LETKO et P. SCHOENFIELD, 1981. *Relation between extramitochondrial and intramitochondrial adenine nucleotide systems.* Arc. Biochem. biophy. 209 : 219-229.

KRAMER, P.J. et T.T. KOZOWSKI, 1960. *Physiology of trees.* McGraw-Hill Book Co. New-York, 642 p.

LAMBANY, L. et A.-M. LAROSE, 1986. *Analyse des sucres solubles foliaires : Élaboration d'une technique d'extraction de la chlorophylle présente dans une solution d'Éthanol.* MER, Service de la régénération forestière. 18 p.

LAMONTAGNE, Y. et M. FERNET, 1972. *Germination et nombres de semences au kilogramme pour diverses espèces d'arbres cultivés dans les pépinières forestières au Québec.* Pépinière de Berthier, Ministère de l'Énergie et des Ressources, rapport interne, 49 p.

LEADEM, C., 1982. *Seed viability of Abies, Picea and Tsuga after storage in the cones :* 57-67. Dans Proc. Internat. Symp. Forest Tree Seed Storage. Petawawa National Forestry Institute, Chalk River, 23-27 november 1980, 243 p.

LE PAGE-DEGIVRY, M.T. et C. BULARD, 1988. *L'acide abscissique dans la régulation du développement embryonnaire et de la germination.* Bull. Soc. Bot. Fr. 135 (4) : 19-32.

LE PAGE-DEGIVRY, M., P. BARTHE, I. PRÉVOST et B. BOULON, 1989. *Régulation of abscissic acid translocation during embryo maturation of* Phoscolus vulgaris. Physiol. Plant 77 : 81-86

LETTAU, K., 1974. *Modeling of the annual cycle of soil moisture.* Dans Leith, H., 1974. Phenology and seasonality modeling : 343-352. Springer-Verlag, New York, vol. 8, 444 p.

LYNN, G. et E. MADSEN, 1981. *ATP-levels of germinating seeds in relation to vigor.* Physiol. Plant. 53 : 164-169.

MARCOTTE, P., G. LAMBANY et N. ST-ONGE, 1986. *Tentatives d'extraction de semences viables par immersion dans une solution.* Service de la régénération forestière, Ministère de l'Énergie et des Ressources, 14 p.

MARQUARD, R.D., et J.A. HANOVER, 1984. *The effect of shade on flowering of* Picea glauca. Can. J. For. Res. 14 : 830-832.

MAYER, A.M, 1977 *Metabolic control of germination.* Dans : The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination. Khan, A.A. : 358-384. Elsevier Biomed., Amsterdam.

MAZOR, L., M. NEGBI et M. PERL, 1984. *The lack of correlation between ATP accumulation in seeds at the early stage of germination and seed quality.* J. Exp. Bot. 35 : 1128-1135.

MERCIER, S., et A. STIPANICIC, 1990. *Réceptivité des cônes femelles, maturation et techniques de forçage des cônes mâles de quelques essences résineuses en relation avec la pollinisation dirigée.* Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la recherche, Rapport interne n° 324, 35 p.

MERCIER, S., T. MORISSETTE et D. BLANCHETTE, 1991. *Évaluation des cônes de pin gris en vue de la récolte de semences de qualité.* Ministère des Forêts, Direction de la recherche. Mémoire de recherche forestière n° 101.

MERCIER, S., 1991. *Phases de maturation des semences d'épinette blanche* (Picea glauca *Moench.*). Thèse de maîtrise. Université Laval. 81 p.

MIROV, N.T., 1944. *Possible relation of linoleic acid to the longevity and germination of pine seed.* Nature 154 : 218-219.

MISRA, S. et M.J. GREEN, 1990. *Developmental gene expression in conifer embryogenesis and germination. I. Seed proteins and protein body composition of mature embryo and the megagametophyte of white spruce* [Picea glauca *(Moench.) Voss*]. Plant Scl. 68 : 163-173.

MORIN, H., 1986. *La régénération de l'épinette blanche dans les étages montagnards.* Nat. Can. 113 : 347-354.

MORISSETTE, T., et J. GRENIER, 1987. *Étude sur les indices de maturité des cônes et des semences d'épinette blanche.* Ministère de l'Énergie et des Ressources. Service de la régénération forestière. 22 p.

MORISSETTE, T., 1990. *La récolte de semences forestières.* Ministère de l'Énergie et des Ressources. Les publications du Québec. 125 p.

MOSQUIN, T., 1966. *A new taxonomy for* Epilobium angustifolium *L.* Brittonia 18 : 167-188.

MULLER, C., 1974. *La post-maturation des graines d'*Abies nordmanniana. Rev. for. franç. 23(4) : 436-439.

OBENDORF, R.L. et S.H. WETTLAUFER, 1984. *Precocious germination during in vitro growth of soybean seeds.* Plant Physiol. 76 : 1024-1028.

OLSEN, D.L. et R.R. SILEN, 1975. *Influence of date of cone collection on Douglas-fir seed processing and germination; a case history.* U.S. For. Serv. Res. Pap. PNW-190.

OWENS, J.N., et M. MOLDER, 1979. *Sexual reproduction of white spruce* (Picea glauca). Can. J. Bot. 57 : 152-159.

OWENS, J.N. et M. MOLDER, 1984. *The reproductive cycle of interior spruce.* Ministry of Forests of British Columbia. 30 p.

PACK, A.B., 1978. *Phenophase timing as affected by temperature trends.* Dans : Hopp, R.J. 1978. Phenology : an aid to agricultural technology : 43-46. Agricultural Experiment Station. University of Vermont, Bull. 684, 50 p.

PRASAD, V.N., V.N. GUPTA et D. BAJRACHARYA, 1983. *Alleviation by gibberrellic acid and kinetin of the inhibition of seed germination in maize* (Zea mays *L.*) *under submerged conditions.* Ann. Bot. 52 : 649-652.

PULLIAINEN, E. et L.H.J. LJUNEN, 1984. *Chemical composition of* Picea abies and Pinus sylvestris *seeds under subartic conditions.* Can. J. For. Res. 13 : 214-217.

QUATRANO, R.S., 1987. *The role of hormones during seed development.* Dans : Davies, P.J. (éd.). 1987. Plant hormones and their role in plant growth and development. 681 p. Martinus Nijhofi Publ. : 494-514.

RAYMOND, P., 1988. *Étude in vitro du métabolisme énergétique de semences en germination.* Université de Bordeaux II, U.E.R. Sciences, thèse n$ 64, 118 p.

RAYMOND, P., 1989. *Métabolisme énergétique et carboné du début de la germination.* Colloque « Biologie des semences », 13 au 16 mars. Angers.

REDISKE, J.H., 1961. *Maturation of Douglas-fir seed : a biochemical study.* For. Scl. 7 (3) : 204-213.

REDISKE, J.H., 1969 *Effects of cone-picking date on Douglas-fir seed quality.* For. Scl. 15 (4) : 404-410.

REDISKE, J.H. et D.C. NICHOLSON, 1965. *Maturation of noble fir seed : a biochemical study.* Weyerhaeuser Co. For., Paper 2.

ROUSSEAU, C., 1974. *Géographie floristique du Québec/Labrador. Distribution des principales espèces vasculaires.* Les Presses de l'Université Laval, Québec, 798 p.

ROWE, J.S., 1953. *Viable seed on white spruce trees in midsummer.* Dep. Can. Dep. North Aff. Nat. Ressouor., For. Branch, For. Res. Div. Silvic, Leaf 99.

SAGLIO, P., M. RANCILLAC, F. BRUZAN et A. PRADET, 1984. *The critical oxygen pressure for growth and respiration of excised and intact roots.* Plant physiol. 76 : 151-154. SAS Institute Inc. 1985. SAS User's Guide : Statistics. 5th edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1956 p.

SIMAK, M., 1966. *Mognadsprocessen hos tallfr* (Pinus sylvestris L.). Sveriges Skogsv. Frb. Tidskr. 64 : 411-426.

SINGH, H., 1978. *Embryology of gymnosperms.* Encyclopedia of plant anatomy. Berlin, 302 p.

SMITH, R.F., 1983. *How early can white spruce cones be collected ?* Maritimes Forest Research Center, Technical Note 92, 2 p.

STEWART, R.R.C. et J.O. BEWLEY, 1980. *Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes.* Plant physiol. 65 : 245-248.

STIELL, W.M., 1981. *L'Épinette blanche : régénération artificielle au Canada.* Institut d'aménagement forestier. Service canadien des forêts. Environnement Canada, rapp. FMR-X-85, 59 p.

STRAUB, R.W. et P.C. HUTH, 1978. *Phenological events and the adult European corn borer.* Dans : Hopp, R.J. 1978. Phenology : an aid to agricultural technology : 27-30. Agricultural Experiment Station. University of Vermont, Bull. 684. 50 p.

SWEET, G.B., 1965. *Provenance differences in Pacific coast Douglas-fir. I. Seed and seedling characteristics.* Silvae Genetica 14 : 46-56.

TAN, B.S., 1989. *Comparaison de la chute des graines et des aiguilles de sapin* (Abies alba *Mill.*), *des aiguilles d'épicea* (Picea excelsa Link.) *et des feuilles de hêtre* (Fagus silvatica *L.*) *dans des stations de la sapinière jurassienne : relation avec les données climatiques.* Rev. for. franç. 41 : 204-210.

TROTTIER, R., 1980. *Early warning system for apple test management in Canada.* EPPO Bull., 10 (2) : 253-257.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1974. *Seeds of woody plants in the United States.* U.S.D.A., Washington, D.C. Agriculture Handbook No. 450, 883 p.

VEILLEUX, L., S. MERCIER et G. LAMBANY, 1991. *Techniques d'analyse des composés physiologiques employées dans la Division de R-D sur les semences, boutures et plants. Guide d'utilisation.* MER. Service de l'amélioration des arbres. 29 p.

WALDRON, R.M., 1965. *Cone production and seed fall in a mature white spruce stand.* For. Chron. 41 : 316-329.

WANG, B.S.P., 1978. *Seed yield and germination requirements of Alberta white spruce and lodgepole pine.* Ministry of Energy and Natural Ressources of Alberta, For. Ser. ENR Rep. No 92, 26 p.

WANG, B.S.P., 1986. *Certaines graines ont besoin de temps.* Institut forestier national de Petawawa, 1 p.

WANG, B.S.P., J.A. PITEL et D.P. WEBB, 1982. *Environmental and genetic factors affecting tree and shrub seeds.* Adv. Res. and Technol. Seed 7 : 86-135.

WARDLE, J.A., 1970. *Ecology of* Nothofagus solandri. N. J. Bot. 8 : 494-646.

WINSTON, D.A. et B.D. HADDON, 1981. *Effects of early cone collection and artificial opening on white spruce and red pine germination.* Can. J. For. Res. II : 817-826.

WHITE, L.M., 1979. *Relationship between meteorological measurements and flowering of index species to flowering of 53 plants species.* Agric. Meteorol. 20 : 189-204.

YOUNG, J.A. et C.G. YOUNG, 1986. *Collecting, processing and germinating seeds of wildland plants.* Timber Press, Portland, 236 p.

XU, W., K.M. COULTER et J.D. BEWLEY, 1990. *Abscissic acid and osmoticum prevent germination of developing alfalfa embryos, but only osmoticum maintains the synthesis of developmental proteins.* Planta 182 : 382-390.

ZASADA, J.C., 1973. *Effect of cone storage method and collection date on Alaskan white spruce* (Picea glauca) *seed quality.* Dans : Proc. IUFRO International Symp. on Seed Problems. W.P.S2.01.06 Tokyo : 179-188.

ZASADA, J., 1988. *Embryo growth in Alaskan white spruce seeds.* Can. J. For. Res. 18 (1) : 64-67.

Annexe

Méthode d'utilisation des indicateurs de maturité des semences d'épinette blanche

Détermination de la longueur de l'embryon

- Extraire quelques semences choisies au hasard parmi des cônes représentatifs de la population
- Couper toutes les semences exactement en deux parties, dans le sens de la longueur, à l'aide d'une **lame de rasoir** ou d'un **scalpel**
- Déterminer la longueur de l'embryon (en pourcentage) à la loupe ou mieux au microscope binoculaire par rapport à la longueur de la cavité embryonnaire (voir schéma) selon la formule suivante :

$$\text{Longueur de l'embryon} = \frac{\text{longueur de l'embryon X 100}}{\text{longueur de la cavité embryonnaire}}$$

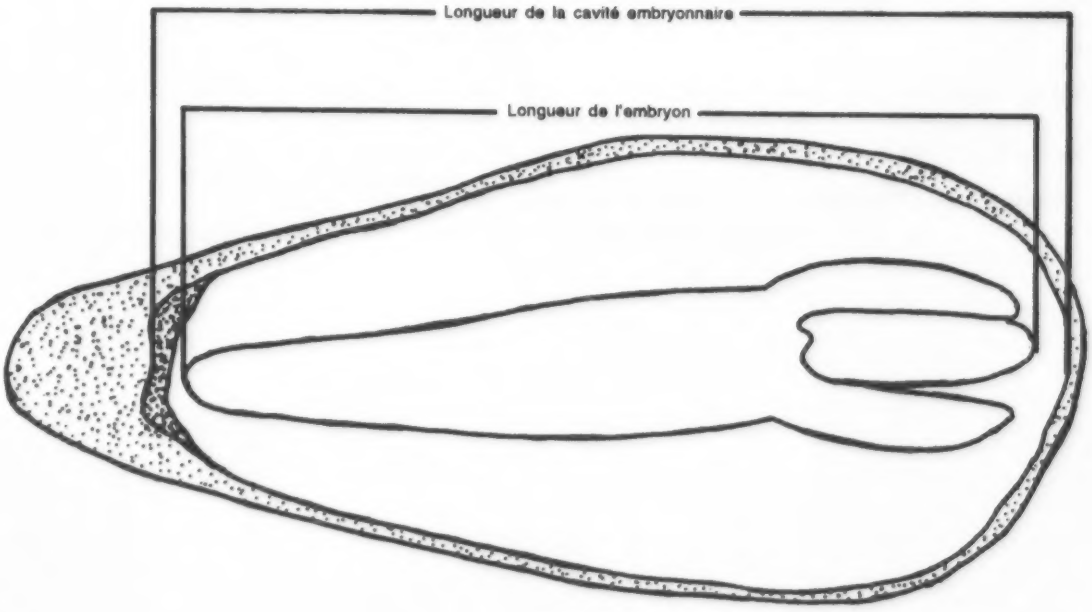

Figure 25. Détermination de la longueur de l'embryon

Équipement nécessaire : – scalpel ou lame de rasoir
– loupe 30X ou microscope binoculaire

Détermination de la teneur en eau des cônes

- Récolter trois groupes de cinq cônes chacun; ces cônes doivent être représentatifs de la population
- Peser les cônes **dès leur récolte** au moyen d'une balance précise à 0,01 g (masse fraîche)

  N.B. : Les cônes ne doivent pas être récoltés lors d'une journée pluvieuse

- Faire sécher les cônes dans une étuve durant une nuit à 80° C
- Peser les cônes dès leur sortie de l'étuve (masse sèche)
- La teneur en eau est obtenue à partir de l'équation suivante :

$$\text{Teneur en eau} = \frac{\text{masse fraîche - masse sèche}}{\text{masse fraiche}} \times 100$$

- Faire la moyenne pour les trois groupes de cônes

Équipement nécessaire : – balance précise à 0,01 g
– étuve.

Réalisation du test de flottaison

- Récolter trois groupes de cônes représentatifs de la population
- Plonger tous les cônes en même temps dans la solution de méthanol dilué
- Dénombrer les cônes flottant à la surface

  N.B. Les cônes commencent à flotter dès le début de l'immersion

- Ne compter qu'un cône sur deux qui flottent
- Faire la moyenne des trois groupes de cônes

Équipement nécessaire : – contenant de 500 ml
– 0,47 litre de méthanol dilué (d = 0,93 g/ml)
– bien mélanger 250 ml d'eau du robinet et 220 ml de méthanol à 99 p. cent
– cylindre gradué de 250 ml.

N.B. La solution de méthanol dilué ne peut servir **qu'une seule journée**

Détermination de la densité spécifique des cônes

- Récolter trois groupes de dix cônes représentatifs de la population
- Peser les cônes **dès leur récolte** au moyen d'une balance précise à 0,01 g (= masse)
- Remplir à moitié d'eau un cylindre gradué de 500 mL et mesurer **précisément** le volume (= volume initial)
- Plonger ensuite les cônes dans le cylindre

  N.B. S'assurer que tous les cônes sont immergés **complètement** dans l'eau

- Mesurer précisément le volume de l'eau et des cônes (= volume final)
- La densité spécifique des cônes est obtenue par l'équation suivante :

$$\text{Densité spécifique} = \frac{\text{masse}}{\text{volume final} - \text{volume initial}}$$

- Faire la moyenne des trois groupes.

Équipement nécessaire : – cylindre gradué de 500 mL
– balance précise à 0,01 g.

MERCIER, Stéphan

ISSN 1183-3912
ISBN 2-550-22600-3

1991 *Maturation et indices de maturité des semences d'épinette blanche*. Gouv. du Québec, min. des Forêts, Dir. de la rech. Mémoire de recherche forestière n° 103. xviii + 62 p. Rés. angl. p. vii.

Cônes récoltés chaque semaine, 1988 et 1989 pour localiser les phases de maturation des semences, trouver des indicateurs de maturité et mieux identifier la récolte. Les semences mûres se reconnaissent par la longueur de l'embryon, la flottaison, la teneur en eau et la densité des cônes; mais ce n'est pas assez précis pour estimer la date de récolte. Associant développement de la semence et accumulation de la température à la progression de l'inflorescence d'*Epilobium angustifolium*, plante compagne de *Picea glauca*, l'auteur a pu prédire la date de maturité quelques semaines à l'avance. Récolter plus d'une semaine avant la maturité diminue le taux de germination et la viabilité des semences. On doit récolter les cônes avant l'entrée en dormance qui apparaît juste après la maturité. Quatre phases de maturation ont été identifiées à partir des glucides, polyols et acides organiques, de la respiration et de l'activité métabolique.

O.D.C. 232.312(047.3)(714)
L.C. SD 402 .S77

FQ91-3103

Mots-clés : épinette blanche, *Picea glauca* (Moench.) Voss, semences, cônes, récolte, maturité, maturation, morphologie, physiologie, épilobe à feuilles étroites, *Epilobium angustifolium* L., écologie, conditions du milieu.

MERCIER, Stéphan

ISSN 1183-3912
ISBN 2-550-22600-3

1991 *Maturation et indices de maturité des semences d'épinette blanche*. Gouv. du Québec, min. des Forêts, Dir. de la rech. Mémoire de recherche forestière n° 103. xviii + 62 p. Rés. angl. p. vii.

Cônes récoltés chaque semaine, 1988 et 1989 pour localiser les phases de maturation des semences, trouver des indicateurs de maturité et mieux identifier la récolte. Les semences mûres se reconnaissent par la longueur de l'embryon, la flottaison, la teneur en eau et la densité des cônes; mais ce n'est pas assez précis pour estimer la date de récolte. Associant développement de la semence et accumulation de la température à la progression de l'inflorescence d'*Epilobium angustifolium*, plante compagne de *Picea glauca*, l'auteur a pu prédire la date de maturité quelques semaines à l'avance. Récolter plus d'une semaine avant la maturité diminue le taux de germination et la viabilité des semences. On doit récolter les cônes avant l'entrée en dormance qui apparaît juste après la maturité. Quatre phases de maturation ont été identifiées à partir des glucides, polyols et acides organiques, de la respiration et de l'activité métabolique.

O.D.C. 232.312(047.3)(714)
L.C. SD 402 .S77

FQ91-3103

Mots-clés : épinette blanche, *Picea glauca* (Moench.) Voss, semences, cônes, récolte, maturité, maturation, morphologie, physiologie, épilobe à feuilles étroites, *Epilobium angustifolium* L., écologie, conditions du milieu.

MERCIER, Stéphan

ISSN 1183-3912
ISBN 2-550-22600-3

1991 *Maturation et indices de maturité des semences d'épinette blanche [Maturation and maturity indices for white spruce seeds]*. Gouv. du Québec, min. des Forêts, Dir. de la rech. *Mémoire de recherche forestière* No. 103. xviii + 62 p. In French, with English abstract.

White spruce cones collected weekly to find indicators of seed maturity and to follow maturation stages during the summers of 1988 and 1989. Floating, cone moisture content, cone gravity, and embryo length measurement used to determine seed maturity but these cannot accurately predict cone collection time. However, maturity date can be forecasted some weeks in advance by monitoring seed development in relation with heat-sums and progression of the inflorescence of fireweed, a species which integrates the same factors as white spruce cones. Cone collection earlier than one week before seed maturity decreases seed germination and viability. Cones would have to be collected before onset of dormancy which appears just after seed maturity. Four maturation stages were determined by monitoring carbohydrates, polyols, organic acids, respiration and metabolic activity.

O.D.C. 232.312(047.3)(714)
L.C. SD 402 .S77

FQ91-3103

Key-words : white spruce, Picea glauca *(Moench.) Voss, seed maturity, seed maturation, cone collecting, morphology, physiology, fireweed*, Epilobium angustifolium *L., ecology, environmental conditions.*

MERCIER, Stéphan

ISSN 1183-3912
ISBN 2-550-22600-3

1991 *Maturation et indices de maturité des semences d'épinette blanche [Maturation and maturity indices for white spruce seeds]*. Gouv. du Québec, min. des Forêts, Dir. de la rech. *Mémoire de recherche forestière* No. 103. xviii + 62 p. In French, with English abstract.

White spruce cones collected weekly to find indicators of seed maturity and to follow maturation stages during the summers of 1988 and 1989. Floating, cone moisture content, cone gravity, and embryo length measurement used to determine seed maturity but these cannot accurately predict cone collection time. However, maturity date can be forecasted some weeks in advance by monitoring seed development in relation with heat-sums and progression of the inflorescence of fireweed, a species which integrates the same factors as white spruce cones. Cone collection earlier than one week before seed maturity decreases seed germination and viability. Cones would have to be collected before onset of dormancy which appears just after seed maturity. Four maturation stages were determined by monitoring carbohydrates, polyols, organic acids, respiration and metabolic activity.

O.D.C. 232.312(047.3)(714)
L.C. SD 402 .S77

FQ91-3103

Key-words : white spruce, Picea glauca *(Moench.) Voss, seed maturity, seed maturation, cone collecting, morphology, physiology, fireweed*, Epilobium angustifolium *L., ecology, environmental conditions.*

Pour rencontrer ses objectifs de reboisement en épinette blanche, le ministère des Forêts doit s'assurer une récolte annuelle de cônes de 700 à 1800 hectolitres. L'un des principaux problèmes auxquels se heurtent les cueilleurs est de déterminer la période de récolte qui, pour cette essence, ne dépasse guère une à deux semaines. Pour cette raison, le Ministère a entrepris des travaux de recherche et de développement pour à élaborer des indicateurs de maturité des semences. Les résultats permettent de localiser adéquatement la période pratique optimale de récolte des cônes d'épinette blanche et de mieux connaître les mécanismes de la maturation.

ISBN 2-550-22600-3
ISSN 1183-3912
O.D.C. 232.312(047.3)(714)
L.C. SD 402 .S77

FQ91-3103

Gouvernement du Québec
Ministère des Forêts
Direction de la recherche